



# MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre  
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## APLICABILIDADE DE ÍNDICES DE *STRESS* TÉRMICO POR CALOR EM CONTEXTO DE TRABALHO MILITAR: ESTUDO PILOTO

Jessyca Caroline de Assis Galan

**Orientador:** Professora Joana Cristina Cardoso Guedes (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

**Arguente:** Professora Joana Carvalho dos Santos (Escola Superior de Saúde do Politécnico do Porto)

**Presidente do Júri:** Professor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

---

2018



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

ISN: 3599\*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, José Carlos Galan e Elizabet Gonçalves, que nunca mediram esforços para me ajudar a conquistar os meus sonhos, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado em todas as decisões por mais complexas que fossem.

As minhas irmãs, Camila Galan e Ellen Galan, modelos de pessoas a serem seguidos e que participam ativamente do meu processo de desenvolvimento académico e pessoal.

Ao meu parceiro de jornada, Ricardo Dias, que também nunca mediu esforços para me ajudar, pela paciência e pela participação decisiva para que eu pudesse ingressar e concluir o mestrado.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Joana Guedes, pelo auxílio no desenvolvimento satisfatório deste trabalho. O seu apoio foi fundamental, não só para que eu conseguisse realizar esta dissertação, mas, também na conclusão do mestrado. Muito obrigada por não ter desistido de mim.

A minha família, em especial ao meu tio Cláudio de Assis, pelo apoio constante.

A todos estes, meu muito obrigada!



## RESUMO

Os militares que participam de treinos e missões estão muitas vezes expostos a ambientes quentes, os quais podem resultar *stress* térmico por calor no corpo destes trabalhadores.

O *stress* por calor promove alterações fisiológicas como aumento da temperatura corporal, da frequência cardíaca e da produção de suor, podendo resultar na degradação das capacidades de desempenho mental e físico, assim como provocar distúrbios como câibras, exaustão ou golpe de calor.

Neste sentido, este estudo teve como objetivo compreender o *stress* térmico ao qual jovens militares do Exército Português, dos quartéis da região norte, estariam expostos em condições reais de trabalho – como nos treinos durante os períodos quentes de verão ou atividades em outros países que costumam realizar missões, como o Afeganistão – que tem climas extremos com verões muito quentes e secos. Sendo o objetivo principal verificar a aplicabilidade dos índices de *stress* térmico por calor neste contexto de trabalho.

Os dados utilizados foram recolhidos por método experimental realizado em uma parceria entre a Universidade do Porto e o Exército Português. No qual foram realizados dois protocolos de teste de esforço, marcha sem carga (MSC) e marcha com carga (MCC), em duas condições ambientais distintas, termoneutral ( $\pm 22\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 40\%$  RH) e *stress* térmico ( $\pm 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 30\%$  RH).

Foram estudados os casos de 5 militares, para os quais foram analisados os efeitos da exposição ao calor seco a fim de verificar a influência das condições ambientais no corpo humano durante a execução de exercícios – marcha sem e com carga adicional. As medições incluíram o acompanhamento da temperatura interna, frequência cardíaca, consumo de oxigénio, perda de massa corporal e concentração de lactato no sangue.

Existe uma vasta gama de índices de *stress* térmico propostos por diferentes pesquisadores, sendo que, atualmente, o WBGT (*wet bulb globe temperature*), o PHS (*predicted heat strain*) e o UTCI (*universal thermal climate index*) aparecem em destaque na literatura, sendo, por esta razão, selecionados para este estudo.

No que se refere a aplicação dos índices o WBGT subestimou os protocolos de MCC em ambiente termoneutral; o PHS se mostrou limitado para taxas metabólicas mais elevadas; e o UTCI se mostrou útil para uma primeira avaliação a nível ambiental. O que reflete em uma maior ênfase dos índices no ambiente do que nos indivíduos.

Verificou-se que a utilização destes índices como ferramentas decisivas de avaliação e previsão do *stress* térmico pode não ser adequada no contexto de trabalho militar, realizado em ambiente muito quente e seco, quando inclui marcha com carga e alta taxa metabólica.

Entretanto, podem ser bastante úteis quando o contexto de trabalho envolve a marcha sem carga, e consequentemente uma taxa metabólica menos elevada, mesmo em ambientes quentes, permitindo uma avaliação e previsão do *stress* térmico em uma ótica preventiva.

**Palavras-chave:** índices de *stress* térmico, condições fisiológicas, *stress* por calor.



## ABSTRACT

Military personnel participating in training and missions are often exposed to hot environments, which can result in heat stress affecting the body of these workers.

Heat stress promotes physiological changes such as increased body temperature, heart rate and sweat production, which can result in degradation of mental and physical performance capabilities, as well as causing disorders such as cramps, exhaustion or heat stroke.

In this sense, the objective of this study was to understand the thermal stress to which young soldiers of the Portuguese Army, of the quarters of the north region, would be exposed in real conditions of work - as in the trainings during hot periods of summer or activities in other countries such as Afghanistan - which has extreme climates with very hot and dry summers. The main objective is to verify the applicability of heat stress indices in this work context.

The data used was collected by an experimental method carried out in a partnership between the University of Porto and the Portuguese Army. Two stress, no-load (MSC) and load-travel (MCC) protocols were performed in two different environmental conditions: thermoneutral ( $\pm 22^{\circ}\text{C}$  and  $\pm 40\%$  RH) and thermal stress ( $\pm 40^{\circ}\text{C}$  and  $\pm 30\%$  RH).

We studied the cases of 5 military personnel, for whom the effects of exposure to dry heat were analysed in order to verify the influence of the environmental conditions on the human body during the execution of exercises - gait without and with additional load. Measurements included monitoring of internal temperature, heart rate, oxygen consumption, body mass loss, and blood lactate concentration.

There is a wide range of thermal stress indexes proposed by different researchers, and currently WBGT (wet bulb globe temperature), PHS (predicted heat strain) and universal thermal climate index (UTC) are highlighted in the literature, being, for this reason, selected for this study.

Regarding the application of the indices the WBGT underestimated the MCC protocols in thermoneutral environment; PHS has been shown to be limited to higher metabolic rates; and the UTCI proved useful for a first environmental assessment. This reflects in a greater emphasis on the indexes in the environment than in individuals.

It was verified that the use of these indices as decisive tools for the evaluation and prediction of thermal stress may not be adequate in the context of military work, performed in a very hot and dry environment, when it includes gait with load and high metabolic rate.

However, they can be very useful when the work environment involves unladen gait, and consequently a lower metabolic rate, even in hot environments, allowing an assessment and prediction of thermal stress in a preventive perspective.

**Keywords:** thermal stress index, physiological conditions, heat stress.





## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO .....	3
2.1	Enquadramento normativo .....	3
2.2	<i>Stress</i> térmico .....	4
2.2.1	Fatores que influenciam o <i>stress</i> térmico .....	4
2.2.1.1	Características individuais .....	4
2.2.1.2	Características ambientais.....	10
2.2.1.3	Atividade desempenhada .....	11
2.2.2	Doenças de calor por esforço .....	12
2.2.2.1	Miliária rubra .....	12
2.2.2.2	Cãibras de calor.....	13
2.2.2.3	Exaustão por calor.....	13
2.2.2.4	Golpe de calor .....	13
2.2.3	Índices de <i>stress</i> térmico .....	14
2.2.3.1	<i>Wet bulb globe temperature (WBGT)</i> .....	14
2.2.3.2	<i>Predicted Heat Strain (PHS)</i> .....	15
2.2.3.3	<i>Universal Thermal Climate Index (UTCI)</i> .....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1	Caracterização da amostra .....	19
3.2	Vestuário.....	20
3.3	Protocolos dos testes.....	22
3.3.1	Protocolo 1: marcha sem carga (MSC) .....	23
3.3.2	Protocolo 2: marcha com carga (MCC) .....	23
3.4	Critérios de paragem.....	23
3.5	Equipamentos e instrumentos .....	24
3.5.1	Monitoramento fisiológico .....	24
3.5.1.1	<i>Temperatura interna</i> .....	24
3.5.1.2	<i>Frequência cardíaca</i> .....	25
3.5.1.3	<i>Consumo de oxigénio</i> .....	25
3.5.1.4	<i>Concentração de lactato</i> .....	25

3.5.1.5	<i>Desidratação</i> .....	26
3.5.2	Câmara climática.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	Temperatura interna.....	29
4.1.1	Participante M01 .....	29
4.1.2	Participante M02 .....	30
4.1.3	Participante M03 .....	31
4.1.4	Participante M04 .....	32
4.1.5	Participante M05 .....	32
4.2	Frequência cardíaca .....	33
4.2.1	Participante M01 .....	33
4.2.2	Participante M02 .....	34
4.2.3	Participante M03 .....	35
4.2.4	Participante M04 .....	35
4.2.5	Participante M05 .....	36
4.3	Consumo de oxigénio .....	37
4.3.1	Participante M01 .....	37
4.3.2	Participante M02 .....	38
4.3.3	Participante M03 .....	39
4.3.4	Participante M04 .....	39
4.3.5	Participante M05 .....	40
4.4	Concentração de lactato.....	40
4.4.1	Participante M01 .....	41
4.4.2	Participante M02 .....	41
4.4.3	Participante M03 .....	42
4.4.4	Participante M04 .....	43
4.4.5	Participante M05 .....	43
4.5	Perda de massa.....	44
4.5.1	Participante M01 .....	44
4.5.2	Participante M02 .....	45
4.5.3	Participante M03 .....	46

4.5.4	Participante M04 .....	47
4.5.5	Participante M05 .....	48
4.6	Isolamento do vestuário.....	49
4.7	Taxa metabólica.....	50
4.7.1	Participante M01 .....	51
4.7.2	Participante M02 .....	52
4.7.3	Participante M03 .....	52
4.7.4	Participante M04 .....	53
4.7.5	Participante M05 .....	53
4.8	Aplicação dos índices de <i>stress</i> térmico .....	54
4.8.1	Avaliação WBGT .....	55
4.8.2	Avaliação PHS .....	57
4.8.3	Avaliação UTCI .....	62
5	CONCLUSÕES .....	65
6	LIMITAÇÕES E PERSPETIVAS FUTURAS .....	67
7	BIBLIOGRAFIA .....	68



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Trocas de calor: trabalho físico em ambiente quente .....	5
Figura 2 – Vestuário militar de treino de combate .....	21
Figura 3 – Gráfico da temperatura interna (Participante M01) .....	30
Figura 4 – Gráfico da temperatura interna (Participante M02) .....	30
Figura 5 – Gráfico da temperatura interna (Participante M03) .....	31
Figura 6 – Gráfico da temperatura interna (Participante M04) .....	32
Figura 7 – Gráfico da temperatura interna (Participante M05) .....	33
Figura 8 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M01) .....	45
Figura 9 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M02) .....	46
Figura 10 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M03) .....	47
Figura 11 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M04) .....	48
Figura 12 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M05) .....	49
Figura 13 – Gráfico do WBGT <sub>eff</sub> baseado na taxa metabólica para condição termoneutral .....	55
Figura 14 – Gráfico do WBGT <sub>eff</sub> baseado na taxa metabólica para condição de <i>stress</i> térmico ..	56
Figura 15 – Gráfico do índice PHS: previsão da temperatura interna (MSC) .....	58
Figura 16 – Gráfico do índice PHS: previsão da temperatura interna (MCC) .....	59
Figura 17 – Gráfico do índice PHS: previsão da taxa sudção requerida (MSC) .....	61
Figura 18 – Gráfico do índice PHS: previsão da taxa sudção requerida (MCC) .....	62



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de referência do UTCI .....	18
Tabela 2 – Frequência cardíaca (Participante M01).....	34
Tabela 3 – Frequência cardíaca (Participante M02).....	34
Tabela 4 – Frequência cardíaca (Participante M03).....	35
Tabela 5 – Frequência cardíaca (Participante M04).....	36
Tabela 6 – Frequência cardíaca (Participante M05).....	36
Tabela 7 – Consumo de oxigénio (Participante M01).....	38
Tabela 8 – Consumo de oxigénio (Participante M02).....	38
Tabela 9 – Consumo de oxigénio (Participante M03).....	39
Tabela 10 – Consumo de oxigénio (Participante M04).....	39
Tabela 11 – Consumo de oxigénio (Participante M05).....	40
Tabela 12 – Concentração de lactato no sangue (Participante M01) .....	41
Tabela 13 – Concentração de lactato no sangue (Participante M02) .....	42
Tabela 14 – Concentração de lactato no sangue (Participante M03) .....	42
Tabela 15 – Concentração de lactato no sangue (Participante M04) .....	43
Tabela 16 – Concentração de lactato no sangue (Participante M05) .....	43
Tabela 17 – Perda de massa corporal (Participante M01).....	44
Tabela 18 – Perda de massa corporal (Participante M02).....	45
Tabela 19 – Perda de massa corporal (Participante M03).....	46
Tabela 20 – Perda de massa corporal (Participante M04).....	47
Tabela 21 – Perda de massa corporal (Participante M05).....	48
Tabela 22 – Isolamento do vestuário militar .....	50
Tabela 23 – Taxa metabólica (Participante M01) .....	51
Tabela 24 – Taxa metabólica (Participante M02) .....	52
Tabela 25 – Taxa metabólica (Participante M03) .....	52
Tabela 26 – Taxa metabólica (Participante M04) .....	53
Tabela 27 – Taxa metabólica (Participante M05) .....	54
Tabela 28 – Parâmetros utilizados no cálculo dos índices de <i>stress</i> térmico .....	54
Tabela 29 – Índice PHS: comparação entre a temperatura real e prevista (MSC).....	58
Tabela 30 – Índice PHS: comparação entre a temperatura real e prevista (MCC) .....	60

Tabela 31 – Determinação do índice UTCI .....	63
---	----



## ABREVIATURAS E SIGLAS

APHC	<i>Army Public Health Center</i>
CAV	Valores de ajustes de roupas
EE	Equivalente energético
ET	Condição de <i>stress</i> térmico
FC	Frequência cardíaca
FC <sub>máx</sub>	Frequência cardíaca máxima
HR	Humidade relativa
$I_{cl}$	Isolamento do vestuário
$I_{clu}$	Isolamento de cada peça do vestuário
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
M	Taxa metabólica
MCC	Marcha com carga
MSC	Marcha sem carga
PHS	<i>Predicted Heat Strain</i>
PROA	Laboratório de prevenção de riscos ocupacionais e ambientais
RQ	Quociente respiratório
TN	Condição termoneutral
T <sub>re</sub>	Temperatura interna
UTCI	<i>Universal Thermal Climate</i>
VCO <sub>2</sub>	Produção de dióxido de carbono
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigénio
WBGT	<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>
WBGT <sub>eff</sub>	WBGT efetivo
WBGT <sub>ref</sub>	WBGT de referência



# PARTE 1

---



## 1 INTRODUÇÃO

Como exigência do trabalho muitos indivíduos se exercitam de forma vigorosa em ambientes com altas temperaturas, podendo esta exposição resultar em graves consequências ao corpo humano (*stress* térmico), e em casos mais extremos conduzir ao golpe de calor que pode causar morte súbita ou danificar os principais órgãos e funções fisiológicas do corpo (Zare, et al., 2018).

Enquadra-se, neste grupo de trabalhadores, os militares que frequentemente realizam missões ou atividades que incluem exercícios extenuantes por longas horas e muitas vezes em climas quentes (ou extremamente quentes) (APHC, 2003). E que, para além do esforço realizado, usualmente precisam estar equipados com vestuário militar e equipamentos pesados, como mochila, arma e munições, necessários à sobrevivência e sucesso das missões.

As condições fisiológicas, uso de medicamentos, consumo de álcool, privação de sono, entre outras vulnerabilidades, assim como a aclimação ao calor desempenham um papel significativo na ocorrência, ou não, de *stress* térmico.

Sendo assim, o gerenciamento adequado da exposição ao calor é considerado como responsável por refletir capacidades ótimas de trabalho e pela prevenção de doenças / lesões provocadas pelo calor (APHC, 2003; Parsons, 2014).

Foi proposto por diferentes pesquisadores uma vasta gama de índices para avaliar e prever a possibilidade de tensão térmica no corpo humano quando expostos a ambientes com altas temperaturas (Zare, et al., 2018). Sendo que, dentre estes índices, o WBGT (*wet bulb globe temperature*), o PHS (*predicted heat strain*) e o UTCI (*universal thermal climate index*) aparecem em destaque na literatura.

É notável uma unanimidade na utilização e descrição de um “homem padrão” ou “homem médio”, entretanto há uma variabilidade individual significativa nos mecanismos de resposta que não são totalmente compreendidos, mas que precisam ser consideradas.

Neste sentido, este trabalho foca-se particularmente na preocupação com a saúde e segurança no trabalho militar realizado em locais com alto *stress* pelo calor, objetivando verificar a aplicabilidade, em contexto real de trabalho, dos três índices de *stress* térmico que aparecem em destaque na literatura.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO

### 2.1 Enquadramento normativo

UNE EN ISO 7243:2017. *Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index:*

Esta norma fornece um método para a avaliação do *stress* térmico e seu valor representa o ambiente térmico ao qual um indivíduo está exposto. O WBGT é considerado fácil de determinar na maioria dos ambientes e deve ser considerado como um método de triagem para estabelecer a presença ou ausência de *stress* por calor.

UNE EN ISO 9920:2009. *Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble:*

Esta norma estabelece métodos para estimar as características térmicas (resistência à perda de calor seco e de calor por evaporação) de um conjunto de roupas, com base nos valores correspondentes de roupas, conjunto de roupas e tecidos conhecidos, considerando a influência do movimento do corpo e a penetração do ar no isolamento térmico e na resistência à evaporação.

UNE EN ISO 8996:2005. *Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate:*

Esta Norma Europeia adota integralmente a Norma Internacional ISO 8996:2004 e especifica diferentes métodos para a determinação da taxa metabólica do ambiente climático de trabalho, podendo ser aplicada para fins como a avaliação de métodos de trabalho, do gasto energético associado a trabalhos específicos, do gasto total de uma atividade, entre outros.

UNE EN ISO 7933:2004. *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain:*

Esta norma especifica um método para a avaliação analítica e interpretação do *stress* térmico experimentado por um sujeito em um ambiente quente. Descrevendo um método para prever a taxa de sudorese e a temperatura interna que o corpo humano irá desenvolver em resposta às condições de trabalho. O método utiliza do cálculo do balanço de calor, para mostrar a influência dos diferentes parâmetros físicos do ambiente no *stress* térmico e assim permitir a identificação de qual parâmetro ou grupo de parâmetros deve ser modificado, e em que medida, a fim de reduzir o risco de tensões fisiológicas.

UNE EN ISO 9886:2004. *Ergonomics – Evaluation of thermal strain by physiological measurements:*

Esta Norma Europeia adota integralmente a Norma Internacional ISO 9886:2004 e descreve os métodos para medir e interpretar os seguintes parâmetros fisiológicos: temperatura interna do corpo, temperaturas cutâneas, frequência cardíaca e perda de massa corporal, assim como define

as condições que deverão ser cumpridas para assegurar a exatidão dos dados obtidos com os diferentes métodos.

UNE EN ISO 7726:2002. *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities*:

Esta Norma Europeia adota integralmente a Norma Internacional ISO 7726:1998 e especifica as características mínimas dos instrumentos de medida das magnitudes físicas que definem um ambiente, assim como os métodos a utilizar para a sua medição.

## **2.2 Stress térmico**

Nesta secção é apresentada a revisão teórica deste trabalho. São abordados todos os aspetos teóricos inerentes ao *stress* térmico, nos quais este trabalho foi fundamentado. São expostos os fatores que influenciam o *stress* térmico; algumas doenças do calor por esforço; como também uma revisão dos índices de *stress* térmico utilizados.

### **2.2.1 Fatores que influenciam o *stress* térmico**

O *stress* térmico no corpo humano é determinado pela combinação das características individuais (por exemplo a taxa metabólica), das características do ambiente em que se está inserido e o teor da atividade desempenhada pelo trabalhador.

Neste contexto, a questão central a ser estudada é a interação destes fatores com capacidade de resposta do corpo humano, que utiliza de seus recursos para manter um estado ótimo e que pode levar à morte se a resposta for inadequada ou se os níveis de energia estiverem além dos limites de sobrevivência (Parsons, 2014).

Sendo assim, torna-se relevante a caracterização destes fatores que determinam o *stress* térmico, os quais são apresentados nas próximas subseções.

#### **2.2.1.1 Características individuais**

Diferentes características individuais podem influenciar na ocorrência do *stress* térmico, as quais estão caracterizadas separadamente em condições fisiológicas, aclimação ao calor e quadros de vulnerabilidade.

##### **2.2.1.1.1 Condições fisiológicas**

De forma consciente ou não, o corpo humano responde continuamente ao ambiente em que está inserido a fim de alcançar ou manter uma condição térmica ideal, sendo o sistema de termorregulação o responsável pelo mecanismo de detetar as condições térmicas circundantes, interpretar suas consequências e agir (Parsons, 2014).



A temperatura corporal é regulada através de dois processos paralelos, um comportamental e outro fisiológico. Segundo o Centro de Saúde Pública do Exército dos Estados Unidos (*Army Public Health Center – APHC*), o primeiro inclui respostas comportamentais como procurar locais com sombra, retardar ou interromper o trabalho que estava sendo executado ou remover roupas e equipamentos; e o segundo ocorre através de respostas de ganho ou perda de calor, como por exemplo através da sudorese e de oscilações do fluxo sanguíneo na pele (APHC, 2003).

Estes dois mecanismos agem em harmonia de forma a manter a temperatura corporal interna próxima a 37 °C, temperatura esta que permanece em equilíbrio dinâmico, uma vez que as condições térmicas externas mudam constantemente tornando necessário que o corpo regule a temperatura interna de forma contínua (Parsons, 2014).

As trocas de calor corporal com o ambiente ocorrem por convecção, radiação, condução (mediada pela alteração do fluxo sanguíneo da pele) e evaporação (mediada pela secreção de suor), e são influenciadas pela temperatura do ar, humidade do ar, velocidade do vento, radiação e pelo vestuário (APHC, 2003). Estas trocas estão representadas na Figura 1, que esquematiza um soldado a realizar trabalho físico em ambiente quente.



Figura 1 – Trocas de calor: trabalho físico em ambiente quente

Fonte: Adaptado de (APHC, 2003, p. 6).

Neste processo de produção e dissipação de calor (trocas de calor), se o corpo armazenar calor, a temperatura interna e da pele aumentarão, e a menos que o *stress* térmico exceda a capacidade do sistema termorregulador de dissipar o calor, as respostas de perda de calor aumentarão até que se restabeleça o equilíbrio, de forma a parar o aumento da temperatura interna (APHC, 2003).

A temperatura interna “refere-se a todos os tecidos localizados a uma profundidade suficiente para não serem afetados por um gradiente de temperatura através do tecido da superfície”, “não sendo, portanto, um conceito único e mensurável como tal”, podendo ser aproximada pela medição da temperatura em diferentes pontos do corpo (ISO 9886, 2004, p. 3).

Os valores limites da temperatura interna, em ambientes quentes, dependerão da taxa de aumento da mesma e dos tipos de medições fisiológicas utilizadas em simultâneo, os limites fixados são (ISO 9886, 2004, pp. 18-19):

- Um aumento de 1,0 °C ou 38,0 °C, o que ocorrer primeiro, quando a temperatura interna é medida de forma intermitente (qualquer que seja a técnica utilizada), com ausência de pessoal médico ou nenhum outro parâmetro fisiológico é medido; ou
- Um aumento de 1,4 °C ou 38,5 °C, o que ocorrer primeiro, quando a temperatura esofágica e a frequência cardíaca são monitorizadas continuamente; ou
- Superior a 38,5 °C, quando entre outras restrições, o objeto de medição foi medicamento selecionado, há vigilância médica contínua e recursos de emergência disponíveis, a temperatura interna e frequência cardíaca são monitoradas continuamente em simultâneo, e a exposição pode ser interrompida a qualquer momento.

A diminuição da transpiração promove um aumento, muitas vezes rápido, na temperatura interna para além dos 38 °C e 39 °C, onde pode ocorrer colapso; e, passando dos 40 °C pode provocar danos ao SNC; e acima dos 42 °C, pode ocorrer golpe de calor (APHC, 2003; Parsons, 2014).

A norma ISO 9886:2004 defende que qualquer aumento acima de 39 °C não é recomendado.

O aumento da frequência cardíaca (FC) de origem térmica está fortemente relacionado ao aumento da temperatura interna. Essa relação, no corpo humano, “varia de acordo com o tipo de esforço realizado (e, portanto, o grupo muscular envolvido) e se o *stress* térmico é exógeno (devido ao clima) ou endógeno (devido essencialmente ao metabolismo)” (ISO 9886, 2004, p. 8).

Idealmente, a FC no ambiente de trabalho não deve exceder o valor máximo da pessoa, podendo este valor ser previsto pela Equação (1) (NTP 295, 1991).

$$FC_{\max} = 220 - \text{idade} \quad (1)$$

Sendo a FC máxima teórica medida em batimentos por minuto (bpm).

Essa quantidade de calor produzida dentro do corpo influencia diretamente na ocorrência do *stress* térmico, o que torna relevante a sua determinação. A taxa metabólica é considerada uma boa estimativa desse calor produzido, uma vez que “representa a quantidade total de energia consumida dentro do corpo ao longo do tempo” (ISO 8996, 2004; ISO 7243, 2017).

É possível estimá-la a partir da ISO 8996:2004 que especifica diferentes métodos, classificados em quatro níveis, para a sua determinação. No contexto deste trabalho, partiu-se da utilização do Nível 4 (*Expertise*) para a determinação da taxa metabólica, baseado na medição do consumo de oxigénio.

É relevante mencionar que o corpo humano só é capaz de armazenar quantidades muito pequenas de oxigénio, e por esta razão ele deve ser absorvido continuamente da atmosfera pela respiração. Os músculos até conseguem trabalhar por um curto período sem receber diretamente oxigénio (trabalho anaeróbico), mas por períodos mais longos de trabalho o metabolismo oxidativo (trabalho aeróbico) é a principal fonte de energia (ISO 8996, 2004).

Segundo a ISO 8996:2004, relativamente ao consumo de oxigénio, no caso de:

- Trabalho leve e moderado: o consumo de oxigénio atinge um estado estacionário igual à necessidade de oxigénio após um curto período de trabalho;
- Trabalho pesado: a necessidade de oxigénio fica acima do limite de longo prazo da potência aeróbica; e
- Trabalho muito pesado: a necessidade de oxigénio fica acima da potência aeróbica máxima.

A taxa de consumo de oxigénio é convertida em taxa metabólica, através de um equivalente energético do oxigénio (EE) que depende do tipo de metabolismo indicado pelo quociente respiratório (RQ), dado pela razão entre a produção de dióxido de carbono e o consumo de oxigénio (ISO 8996, 2004).

A taxa metabólica pode então ser determinada a partir das seguintes equações (ISO 8996, 2004):

Equação (2) que fornece o quociente respiratório:

$$RQ = \frac{VCO_2}{VO_2} \quad (2)$$

Onde:

$VO_2$  é a taxa de consumo de oxigénio, em litros de oxigénio por hora (L/h);

$VCO_2$  é a taxa de produção de dióxido de carbono, em litros de dióxido de carbono por hora (L/h);

Equação (3) que fornece o equivalente energético:

$$EE = (0,23 RQ + 0,77) \cdot 5,88 \quad (3)$$

Onde:

EE é o equivalente energético, em watts-hora por litro de oxigénio (W·h / L);

E, finalmente, Equação (4) que fornece a taxa metabólica baseada no consumo de oxigénio:

$$M = EE \cdot VO_2 \cdot \frac{1}{ADu} \quad (4)$$

Onde:

M é a taxa metabólica, em watts por metro quadrado (W / m<sup>2</sup>);

$A_{Du}$  é a área da superfície do corpo, em metros quadrados (m<sup>2</sup>), dada pela fórmula de Du Bois.

Em resposta a realização de esforço físico há um aumento no  $VO_2$  e na FC, que pode resultar em hiperventilação, assim como em um aumento na concentração de lactato no sangue (esta relação é tratada na subsecção [Consumo de oxigénio](#), apresentada no Monitoramento fisiológico).

A concentração de lactato no sangue é um importante indicador sobre o metabolismo energético e fadiga muscular, sendo proveitoso seu uso no estudo das respostas fisiológicas durante exercícios prolongados (Teixeira, Grossl, Lucas, & Guglielmo, 2013).

Durante um “exercício aeróbico submáximo de baixa intensidade, o lactato pode não se alterar significativamente em relação aos valores de repouso”, por outro lado, o aumento da intensidade do exercício também aumenta a concentração de lactato no sangue (Gomes, 2017, p. 22).

A determinação do limiar láctico no sangue nem sempre é possível e depende do protocolo utilizado, entretanto, são arbitradas as concentrações de 2 e 4 mmol/L de lactato no sangue como referenciais válidos para controle de treino (Gomes, 2017).

Em ambientes quentes, a perda de água (suor) também pode ser considerada como um índice de tensão fisiológica de origem térmica. Essa medida, em conjunto com o balanço hídrico do corpo, permite avaliar os riscos de desidratação do corpo (ISO 9886, 2004).

A perda de massa corporal de uma pessoa durante um determinado intervalo de tempo é dada pela diferença entre a massa corporal medida no início e no final deste intervalo (ISO 9886, 2004). E, nesse contexto, é utilizada como método de determinação da perda de água corporal, seja por sudação ou evaporação.

No que se refere aos valores limites de perda de água, a fim de evitar a desidratação, os limites máximos fixados são (ISO 7933, 2004; ISO 8996, 2004):

- 7,5% da massa corporal, quando os indivíduos podem beber água livremente; ou
- 5% da massa corporal, quando a finalidade é proteger 95% da população trabalhadora;
- 3% da massa corporal, quando os indivíduos não podem beber água livremente.

Limitando a taxa de suor em (ISO 9886, 2004):

- 1,0 Litro por hora para indivíduos não aclimatados; e
- 1,25 Litros por hora para indivíduos aclimatados.

#### **2.2.1.1.2 Aclimação ao calor**

A aclimação ao calor é, de acordo com Jackson & Rosenberg (2010), uma adaptação fisiológica temporária que melhora a tolerância e a dissipação do calor. Em adição, segundo a norma ISO 7243:2017, uma pessoa aclimatada ao calor é aquela que “foi exposta às condições do trabalho em ambiente quente (ou condições semelhantes ou mais extremas) por pelo menos uma semana inteira de trabalho imediatamente antes do período de avaliação”, caso contrário a pessoa será considerada não aclimatada.

A distinção entre indivíduos aclimatados e não-aclimatados é essencial, isso porque “os aclimatados conseguem transpirar mais abundantemente, de maneira mais uniforme, em sua superfície corporal e mais cedo do que os sujeitos não aclimatados”, além de “perderem menos sal através da transpiração e, portanto, poderem suportar uma maior perda de água”, o que em

uma situação de trabalho reflete em “menor armazenamento de calor (temperatura interna mais baixa) e menor restrição cardiovascular (menor frequência cardíaca)” (ISO 7933, 2004).

Para o APHC (2003), a aclimatação ao calor pode ser induzida com exposições progressivas ao calor por cerca de duas semanas, com exposição mínima de duas horas por dia; associada a exercício físico que exija resistência cardiovascular, com intensidade aumentada gradualmente até atingir o ritmo adequado à atividade a ser desempenhada e ao ambiente de trabalho.

Para esta instituição, repousar no calor resulta apenas em “aclimatação parcial” e a atividade física no calor “deve ser realizada para atingir a aclimatação ideal para o trabalho”. No caso dos soldados e atletas, a condição física e a aclimatação devem ser maximizadas antes da sua inserção no ambiente quente, e deve ser mantida a aptidão física após esta inserção com programas de manutenção adaptados, se cessarem as exposições “os benefícios da aclimatação ao calor serão mantidos por aproximadamente 1 semana e depois decairão com cerca de 75% de perda por -3 semanas” (APHC, 2003).

A aclimatação ao calor é necessária mesmo para os indivíduos considerados aptos fisicamente a função a ser desempenhada. Outro fator que demanda atenção é que, a água fornecida e o seu consumo, devem ser monitorados durante e após o período de aclimatação, isto porque, esta eleva a taxa de transpiração aumentando as necessidades de água, podendo resultar em dois tipos de inconvenientes: desidratação ou hiponatremia (temas abordados na secção “Doenças de calor por esforço” deste estudo).

#### **2.2.1.1.3 Quadros de vulnerabilidade**

Para além das características individuais e aclimatação, existem diferentes quadros de vulnerabilidade que podem influenciar negativamente a termorregulação e tornar um indivíduo mais suscetível ao risco de *stress* térmico, o que inclui fatores como genética (por exemplo, mutações para fibrose cística e hipertermia maligna); estado de saúde, incluindo doenças anteriores ou condições crónicas; uso de medicamentos e drogas (APHC, 2003; Pryor, Bennett, O'Connor, Young, & Asplund, 2015).

A influência dos fatores genéticos é abordada por Parsons (2014), o qual descreve que habitantes da Nova Guiné apresentam taxas de suor muito menores do que as dos nigerianos na África Ocidental, e que a mulher média costuma ter taxa de suor menor do que a do homem, apontando que há claramente diferenças entre as raças e que é provável que os fatores genéticos tenham algum efeito nas variações.

Qualquer doença febril ou condições que afetem a pele e que possam alterar a termorregulação do corpo também aumentam o risco do portador de ser uma vítima do calor. Somam-se a estas outras condições médicas como diabetes, hipertensão, distúrbios da tireoide, privação de sono e distúrbios alimentares, como também problemas gastrointestinais agudos que, durante momentos de atividades de resistência, podem prejudicar a capacidade do indivíduo de consumir fluidos em volumes e intervalos apropriados contribuindo para um estado de desidratação (Pryor, Bennett, O'Connor, Young, & Asplund, 2015).

O APHC (2003), relaciona medicamentos associados a termorregulação prejudicada, algumas dessas por sua relevância militar ou uso generalizado: as drogas anticolinérgicas que suprimem a transpiração; a piridostigmina que aumenta a sudorese; medicamentos para dormir, antidepressivos tricíclicos, tranquilizantes, anti psicóticos e anti-histamínicos que têm ação anticolinérgica e estão associados ao aumento do risco de golpe de calor; e os diuréticos que causam perda de líquidos e promovem efeito semelhante à desidratação.

O uso de medicamentos e drogas, assim como o consumo de álcool podem contribuir para o aumento da temperatura corporal durante o exercício; comprometer a termorregulação e promover estados de desidratação (Pryor, Bennett, O'Connor, Young, & Asplund, 2015).

### **2.2.1.2 Características ambientais**

A temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade e o movimento do ar são as quatro variáveis ambientais básicas que afetam a resposta humana aos ambientes térmicos (Parsons, 2014). Sendo a alta temperatura do ar, a alta umidade, a radiação térmica e a baixa movimentação de ar, causas de *stress* ambiental (APHC, 2003). Neste sentido, estas grandezas físicas necessárias para análise do *stress* térmico, são apresentadas nas próximas subsecções.

#### **2.2.1.2.1 Temperatura do ar**

A temperatura do ar determina a transferência de calor por convecção ao nível da pessoa, isto é, determina a troca de calor sensível entre a superfície do corpo (pele e roupa) e o ar ambiente (Araújo, Rui, & Fiequimetal, 2010; ISO 7726, 1998).

#### **2.2.1.2.2 Temperatura radiante**

A temperatura radiante traduz a quantidade de calor radiante perdido ou recebido pelas partes expostas do corpo humano com as várias fontes de calor circundantes, sendo essa quantidade de calor o somatório de todos os fluxos radiantes trocados entre o corpo e ambiente em que está inserido (ISO 7726, 1998).

#### **2.2.1.2.3 Umidade absoluta do ar**

A umidade absoluta do ar representa a quantidade real de vapor de água contida no ar, e geralmente são utilizados dois valores para caracteriza-la, a razão de umidade e a pressão parcial do vapor de água (ISO 7726, 1998).

No estudo do *stress* térmico, é utilizada para determinar a transferência de calor por evaporação do corpo (ISO 7726, 1998). Assim, um indivíduo inserido em um ambiente com umidade do ar elevada terá a sua capacidade de evaporação do suor reduzida, que pode resultar em *stress*

térmico, uma vez que a transpiração é a maneira mais eficaz pela qual o corpo libera calor (Becker & Stewart, 2011).

#### **2.2.1.2.4 Velocidade do ar**

A velocidade do ar, segundo a ISO 7726:1998, é utilizada na determinação da transferência de calor por convecção e evaporação na posição de uma pessoa. A norma ressalta que a medição da velocidade do ar é geralmente difícil, isto porque ela pode oscilar, ou mesmo mudar de direção, com o tempo e em qualquer ponto do espaço.

#### **2.2.1.3 Atividade desempenhada**

A atividade desempenhada por um indivíduo também precisa ser considerada dentre os fatores que influenciam o *stress* térmico. No caso específico dos militares, em situações de trabalho em ambientes quentes como missões que exigem atividade física intensa, operar certos veículos de combate, trabalhar em salas de máquinas (somado as roupas de proteção), pode envolver condições de *stress* térmico tão severas que não podem ser toleradas por períodos prolongados (APHC, 2003).

Na programação do trabalho a ser desempenhado é necessário considerar a aclimação dos trabalhadores, o nível de atividade e as condições de *stress* térmico, algumas instituições como a Agência de Proteção Ambiental (EPA), o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) e as forças armadas, oferecem orientações sobre a estruturação dos ciclos de trabalho (Jackson & Rosenberg, 2010).

A inserção de períodos de descanso adequados as atividades com exposição ao calor e/ou carga solar, em combinação com os esforços de hidratação e resfriamento, são necessários para evitar doenças provocadas pelo calor e promover melhorias de desempenho evitando problemas de tensão de calor (Jackson & Rosenberg, 2010).

Ainda referente ao tema, o vestuário utilizado no trabalho, como por exemplo uniforme ou farda militar, exerce significativa influência na capacidade de aquecimento ou dissipação de calor corporal, o qual é abordado separadamente na próxima subseção.

##### **2.2.1.3.1 Vestuário / equipamento utilizado**

O vestuário proporciona uma resistência térmica entre o corpo humano e seu ambiente, sendo o papel funcional da roupa manter o corpo em um estado térmico aceitável em uma variedade de ambientes (Parsons, 2014).

Para manter o corpo em equilíbrio o calor interno (calor metabólico) flui para a pele, este por sua vez flui da pele através do isolamento do vestuário até a superfície da roupa e assim flui para o ambiente (Parsons, 2014).

O isolamento do vestuário ( $I_{cl}$ ), segundo a ISO 9920:2007, é definido pelo somatório do isolamento de cada peça ( $I_{clu}$ ) utilizada pelo trabalhador, tal como apresentado na Equação (5):

$$I_{cl} = \sum I_{clu} \quad (5)$$

O vestuário e os equipamentos utilizados pelos trabalhadores podem impedir a dissipação de calor e aumentar a tensão pelo calor (APHC, 2003). Por isso, é necessário conhecer as características térmicas do vestuário, nomeadamente o isolamento térmico e permeabilidade do ar ( $i_m$ ), ao avaliar o *stress* térmico gerado no trabalhador (ISO 9920, 2007).

## **2.2.2 Doenças de calor por esforço**

As doenças provocadas pelo calor que estão associadas ao esforço físico são denominadas como doenças pelo calor por esforço. Estas “desordens” vão desde leves câibras de calor até a exaustão ou no pior dos casos até ao golpe de calor (quando o corpo não consegue regular a sua temperatura) (APHC, 2003).

O APHC defende que as doenças de calor devem ser consideradas como partes sobrepostas de um contínuo, ao invés de distúrbios distintos, e acredita que essas doenças vão progredindo de um quadro mais ligeiro a um mais grave. Essa afirmação é justificada pelo fato destas doenças estarem relacionadas com a elevação da temperatura interna do corpo, aos processos metabólicos e circulatórios causados pela tensão de calor provocada pela atividade desempenhada, pelo ambiente ao qual o indivíduo está exposto e a resposta termo regulatória do corpo.

Neste sentido, são apresentadas nas próximas subseções as doenças de calor por esforço mais frequentemente encontradas na literatura, uma vez que, apesar da existência de técnicas para prevenção destas doenças, elas continuam sendo uma ameaça para os trabalhadores.

### **2.2.2.1 Miliária rubra**

A miliária rubra, popularmente conhecida como brotoeja, consiste na inflamação aguda das glândulas sudoríparas que são obstruídas impedindo a eliminação do suor do corpo<sup>1</sup>, se manifesta sob a forma de erupções na pele que origina a sensação de comichão ou ardor, como resultado de longos períodos de transpiração excessiva ou uso de substâncias químicas como óleos ou cremes gordurosos; ambientes quentes e húmidos, excesso de roupas e febre alta podem desencadear estas lesões (Hunt, Parker, & Stewart, 2013).

---

<sup>1</sup> <http://www.sbd.org.br/dermatologia/pele/doencas-e-problemas/brotoeja/52/> (acedido em 28/04/2018)



### **2.2.2.2 Cãibras de calor**

As cãibras de calor são contrações musculares involuntárias e dolorosas, que produzem um carço duro no músculo, sendo usualmente breves e recorrentes. A causa pode ter diferentes origens, como resultado da desidratação, da depleção eletrolítica, durante um período de recuperação após um período de intenso trabalho no calor, ou fadiga neuromuscular, devido ao uso vigoroso do (s) músculo (s) afetado (s) (APHC, 2003; Schwellnus, 2009 citado por Hunt et al., 2013). Ainda segundo a APHC, os trabalhadores com cãibras causadas pelo calor geralmente apresentam *deficits* de sódio, sendo a reposição de sal ou repouso adequado suficientes para atenuar a situação.

### **2.2.2.3 Exaustão por calor**

A exaustão por calor ou síncope de calor ocorre quando há uma falha no sistema cardiovascular, na qual o organismo não consegue atender às demandas combinadas de fluxo sanguíneo na pele para termorregulação e fluxo sanguíneo para as exigências metabólicas do desempenho dos músculos e dos órgãos vitais, em que a temperatura interna está entre 37°C e 40°C (APHC, 2003; Glazer, 2005; Hunt, Parker, & Stewart, 2013).

Um trabalho extenuante em ambiente quente, associado a alta taxa de sudação, pode resultar na desidratação e perda do equilíbrio eletrolítico, promovendo uma redução no volume sanguíneo e na circulação, que são fatores chaves na experiência da exaustão por calor (Jackson & Rosenberg, 2010; Hunt, Parker, & Stewart, 2013).

Os sinais e sintomas da exaustão por calor incluem fraqueza generalizada, fadiga, tontura, dor de cabeça, náusea, vômito, mal-estar, hipotensão, taquicardia, cãibras musculares, hiperventilação, suor persistente e alteração transitória do estado mental (APHC, 2003).

E está associada a outras desordens, como a depleção de água, devido a perda de água pela transpiração corporal sem reposição; a depleção salina, pela insuficiente reposição de sódio; e a até mesmo a hiponatremia, que resulta da hiperhidratação voluntária, quando o indivíduo ingere muita água na tentativa de ficar hidratado e causa um desequilíbrio nos eletrólitos do corpo.

### **2.2.2.4 Golpe de calor**

Na sequência da exaustão por calor, se a termorregulação do indivíduo não conseguir evitar que a temperatura do corpo suba excessivamente, irá se desenvolver o golpe de calor. Esta falha é caracterizada pela elevação da temperatura interna acima dos 40 °C e disfunção do sistema nervoso central causando delírio, convulsões ou coma; a elevação extrema da temperatura interna do corpo, superior a 42 °C, avança para a disfunção de múltiplos órgãos, especialmente cérebro, fígado e rins (APHC, 2003).

Os indícios golpe de calor por esforço podem ser anunciados por até uma hora de sinais ou sintomas, incluindo dor de cabeça, tontura, sonolência, inquietação, confusão e comportamento

agressivo. Cenários de convulsões, coma e cessação da sudorese podem ser eventos tardios desta desordem, que ocorre em pessoas fisicamente ativas que estão produzindo elevada carga térmica metabólica, sendo sua ocorrência particularmente comum entre militares e atletas (APHC, 2003).

É frequentemente fatal e os casos não fatais podem exigir longos períodos de recuperação e resultar em danos permanentes nos órgãos (Jackson & Rosenberg, 2010). Ocorre geralmente sob condições em que a vítima havia sido exposta muitas vezes em outras ocasiões ou enquanto há outros indivíduos expostos a mesma situação sem incidentes, sugerindo que as vítimas eram mais vulneráveis naquele dia e que algum evento único desencadeou a lesão por calor, evidências sugerem que as vítimas estariam doentes no dia anterior, ou seja, já iniciaram suas atividades comprometidas.

### **2.2.3 Índices de *stress* térmico**

#### **2.2.3.1 *Wet bulb globe temperature (WBGT)***

O índice de temperatura de bolbo húmido e de temperatura do globo (WBGT) é um índice empírico que apresenta um método de triagem para avaliar o *stress* térmico ao qual uma pessoa está exposta. É normalizado pela *International Organization for Standardization* (ISO), sendo a ISO 7243:2017 a edição em vigor.

É aplicado na avaliação do efeito do calor em um indivíduo durante sua exposição ao longo do dia de trabalho, não sendo válido para períodos muito curtos de exposição ou para atividade física momentaneamente intensa, ou próximos das zonas de conforto do objeto de medição. Pode ser aplicado em ambientes internos ou externos e em indivíduos considerados aptos ao trabalho.

O processo de medição deve abranger um intervalo de tempo de cerca de 1 hora representativa da exposição do trabalhador ao ambiente térmico, sendo recomendado que o período selecionado para a medição seja o mais provável para ocorrência de *stress* por calor (ISO 7243, 2017). Para o caso de variações espaciais ou temporais no ambiente, a norma descreve os ajustes necessários.

O grau de *stress* por calor ao qual um indivíduo está exposto “depende das características do ambiente que regem a transferência de calor entre o ambiente e o corpo; da produção de calor dentro do corpo como resultado da atividade física; e da roupa usada, que modifica a troca de calor com o meio ambiente” (ISO 7243, 2017, p. 2).

No que se refere a caracterização do ambiente, o método considera a temperatura do ar, a humidade do ar, a temperatura média radiante e velocidade do ar, estes parâmetros são obtidos através dos métodos de medição descritos na norma e são utilizados em função da carga solar no ambiente em questão.

Na Secção 5 da norma estão descritas as equações para o cálculo do WBGT utilizando os parâmetros ambientais supracitados. Além disso, está disponibilizado por pesquisadores *softwares* que permitem o cálculo do WBGT.

Os valores de referência fornecidos pela norma consideram a utilização de roupas de trabalho de algodão ( $I_{cl} = 0,6$  clo e  $i_{m} = 0,38$ ), caso o trabalhador utilize vestuário diferente do mencionado, é necessário aplicar os “valores de ajuste de roupas” (CAVs) nas unidades de temperatura WBGT, resultando em um  $WBGT_{eff}$  (este ajuste é descrito na Secção 7 da norma) (ISO 7243, 2017). Caso não sejam realizados ajustes no vestuário o  $WBGT_{eff}$  é igual ao WBGT calculado.

Referente a avaliação do indivíduo, a taxa metabólica é determinada com base nos métodos apresentados na ISO 8996:2004.

O Anexo A da ISO 7243:2017 apresenta os valores do índice de *stress* térmico do WBGT para cinco classes de taxa metabólica.

Segundo a norma, se os valores do  $WBGT_{eff}$ , determinados para o ambiente quente sob avaliação forem maiores que os valores de referência  $WBGT_{ref}$  e se “uma estimativa mais precisa da taxa metabólica estiver disponível” então os valores de referência (limites de exposição) podem ser obtidos por interpolação linear seguindo as Equações (6) e (7), disponibilizadas na norma.

Para indivíduos aclimatados:

$$WBGT_{ref} = 56,7 - 11,5 \log_{10} . M \quad (6)$$

Para indivíduos não aclimatados:

$$WBGT_{ref} = 59,9 - 14,1 \log_{10} . M \quad (7)$$

Onde:

M é a taxa metabólica, em watts (W).

Os valores de WBGT obtidos devem ser comparados com os valores de referência, e caso o valor de referência do índice seja excedido, a norma indica “reduzir diretamente o *stress* térmico ou a tensão no local de trabalho por métodos apropriados”, estas reduções podem ser obtidas pelo controle do meio ambiente, do nível de atividade, do tempo gasto no ambiente e na proteção individual; e/ou proceder a “uma análise detalhada do *stress* térmico usando a norma ISO 7933” (ISO 7243, 2017, p. 2).

### **2.2.3.2 Predicted Heat Strain (PHS)**

O método da tensão de calor prevista ou *predicted heat strain* (PHS) é um método para avaliação e interpretação analítica do *stress* térmico ao qual um indivíduo pode estar sujeito em um ambiente quente. É normalizado pela ISO, sendo a ISO 7933:2004 a edição atualmente em vigor, segundo a qual, o método permite prever “a taxa de sudação e a temperatura interna que o corpo humano irá desenvolver em resposta às condições de trabalho”.

Os principais objetivos da norma são “a avaliação do *stress* térmico em condições que possam levar a um aumento excessivo da temperatura interna ou perda de água para um indivíduo padrão; e a determinação dos tempos de exposição com os quais a tensão fisiológica é aceitável

(nenhum dano físico é esperado)”, ressalta-se o enfoque no “indivíduo padrão” em boa saúde e aptos ao trabalho, o método não prediz as respostas fisiológicas individuais (ISO 7933, 2004).

Este modelo de previsão é baseado no equilíbrio térmico/balanco de calor, no qual são utilizados diferentes parâmetros, seja a nível do indivíduo ou das características ambientais, visando mostrar a influência de cada um deles na composição do *stress* térmico que pode afetar o trabalhador. De acordo com a norma, este modelo torna possível identificar os parâmetros que devem ser modificados, e em que medida, a fim de reduzir o risco de tensões fisiológicas.

Os parâmetros principais considerados na análise do indivíduo exposto a ambiente térmico quente, em situação de trabalho, são a taxa metabólica ( $M$ ) (estimada com base na norma ISO 8996:2004) e as características térmicas do vestuário ( $I_{cl}$ ) (estimada com base na norma ISO 9920:2007). E no que se refere a análise do ambiente é essencial a medição dos parâmetros temperatura do ar ( $t_a$ ), temperatura média radiante ( $t_r$ ), pressão parcial de vapor ( $p_a$ ) e velocidade do ar ( $v_a$ ) (estimados com base na norma ISO 7726:1998).

A norma apresenta o método de interpretação para a determinação da taxa de suor prevista, da temperatura retal prevista, dos tempos máximos de exposição permitidos e regimes de descanso de trabalho para atingir a taxa de suor prevista, sendo esta determinação baseada em dois critérios, nomeadamente, o aumento máximo da temperatura corporal e a perda de água corporal.

O Anexo A da norma apresenta as faixas de condições para as quais o modelo PHS foi validado, caso um parâmetro ou grupo destes, estejam fora dos limites indicados, é recomendado que o modelo seja utilizado com cautela e seja dada atenção especial aos indivíduos expostos.

O método PHS não se aplica aos casos em que é necessário a utilização de vestuário de proteção especial (vestuário refletor, arrefecimento ativo e ventilação, impermeável, com equipamentos de proteção pessoal) (ISO 7933, 2004).

Os valores limites, estipulados pela norma, para os critérios de tensão térmica são:

- Temperatura interna máxima ( $t_{re,max}$ ):

Segue as recomendações da OMS, em que não é aconselhável que a temperatura corporal interna exceda os 38 ° C na exposição diária prolongada no trabalho pesado.

- Desidratação ou perda de água máxima ( $D_{max}$ ):

Quando os trabalhadores podem consumir água livremente: 7,5% ou 5% da massa corporal. E, quando os trabalhadores não podem consumir água: 3% da massa corporal. (Tal como descrito na seção [Condições fisiológicas](#) deste trabalho).

E, para a taxa de sudção, considerada um critério de *stress* térmico:

- Taxa de sudção máxima ( $S_{w,max}$ ):

Dada pela Equação (8), para com uma faixa de 250 W/m<sup>2</sup> a 400 W/m<sup>2</sup>.

$$S_{wmax} = (M - 32) \cdot Adu \quad (8)$$

Onde:

M é a taxa metabólica, em watts (W);

A<sub>Du</sub> é a área da superfície do corpo, em metros quadrados (m<sup>2</sup>).

A norma ainda inclui que, os especialistas em saúde ocupacional são responsáveis por avaliar o risco relacionado a um determinado indivíduo, levando em consideração suas características específicas que podem diferir daquelas de um indivíduo padrão.

### **2.2.3.3 Universal Thermal Climate Index (UTCI)**

O índice climático térmico universal (UTCI) foi baseado no modelo de Fiala, que simula fenômenos de transferência de calor humano dentro do corpo e em sua superfície, o qual foi adaptado e ampliado para prever respostas humanas em condições climáticas externas de grande amplitude, caracterizadas por temperatura ambiente não moderada, velocidade elevada do vento e condições de radiação solar (Fiala, Havenith, Bröde, Kampmann, & Jendritzky, 2012).

Embasado no progresso científico da modelagem termofisiológica, este índice foi desenvolvido para integrar novos conhecimentos e preencher lacunas relacionadas a teoria da fisiologia térmica e das trocas de calor não contempladas pelos outros métodos existentes, objetivando um procedimento de avaliação fisiologicamente relevante do ambiente térmico que seja internacionalmente aceito (UTCI, 2004).

O conceito de UTCI envolveu a definição de um ambiente de referência ao qual todas as outras condições climáticas reais são comparáveis. A equivalência entre as condições real e de referência foi baseada em uma equivalência da resposta fisiológica dinâmica entre ambos os ambientes (UTCI, 2004).

O indivíduo de referência é caracterizado como tendo “uma área de superfície corporal de 1,85 m<sup>2</sup>, peso corporal de 73,4 kg e teor de gordura corporal de 14%” (Fiala, Havenith, Bröde, Kampmann, & Jendritzky, 2012, p. 430).

Os dados fisiológicos replicam um adulto relaxado com um metabolismo basal do corpo inteiro de 87,1 W, taxa de evaporação basal da pele de 18 W e débito cardíaco de 4,9 L/min (Fiala, Havenith, Bröde, Kampmann, & Jendritzky, 2012, p. 430).

A nível do vestuário, o modelo leva em consideração ajustes comportamentais, ou seja, quanto isolamento as pessoas colocam (faixa de 0,4 clo a 3,0 clo), em função da temperatura do ar, efeito do vento e velocidade de caminhada (ajustada para 4 km/h, que corresponde a uma taxa metabólica de 2,3 MET) (Fiala, Havenith, Bröde, Kampmann, & Jendritzky, 2012; UTCI, 2004).

E, no que se refere as variáveis atmosféricas, as trocas de calor são determinadas pela temperatura do ar, velocidade do vento, pressão do vapor de água, radiação solar e fluxos radiantes de ondas longas emitidos pelo ambiente, incluindo o céu (UTCI, 2004).

A equipe dos pesquisadores envolvidos no desenvolvimento deste índice produziram um website<sup>2</sup>, no qual é disponibilizado documentos referentes ao estudo, permitindo acesso à detalhes e informações do estudo, escala de avaliação, publicações, e ainda disponibilizam uma calculadora, que facilita a acessibilidade e agilidade no cálculo deste índice.

Para a utilização da calculadora é necessário a inserção dos dados referentes a temperatura do ar  $T_a$ ; a temperatura média radiante,  $T_{mrt}$ , como desvio da temperatura do ar, representada por  $\Delta T_{mrt}$ ; a pressão parcial de vapor ou o percentual da humidade relativa do ar; e por fim a velocidade do vento que deve variar entre 0,5 a 17 m/s.

Quando os valores são submetidos a calculadora retorna o valor do UTCI equivalente.

O valor retornado pela calculadora deve ser interpretado a luz da escala de avaliação do UTCI, também disponibilizada pelos pesquisadores e difundida em outros estudos científicos.

Esta escala de avaliação do UTCI foi desenvolvida a partir das respostas fisiológicas simuladas e são categorizadas em 10 níveis de *stress* térmico, os quais são apresentados na Tabela 1 como sendo os valores de referência para o índice em questão.

Tabela 1 – Valores de referência do UTCI

UTCI (°C)	Categorias do <i>stress</i>
acima +46	<i>Stress</i> por calor extremo
+38 a +46	<i>Stress</i> por calor muito forte
+32 a +38	<i>Stress</i> por calor forte
+26 a +32	<i>Stress</i> por calor moderado
+9 a +26	Sem <i>stress</i> térmico
+9 a 0	<i>Stress</i> por frio ligeiro
0 a -13	<i>Stress</i> por frio moderado
-13 a -27	<i>Stress</i> por frio forte
-27 a -40	<i>Stress</i> por frio muito forte
abaixo -40	<i>Stress</i> por frio extremo

Fonte: Adaptado de (Zare, et al., 2018, p. 51).

O índice foi formulado para considerar a mesma tensão térmica em um ambiente de referência assim como a experimentada em ambiente real, buscando ser o mais abrangente possível, entretanto a “mesma tensão térmica” foi definida através do uso de “uma aproximação de cálculo rápida ao modelo e não o modelo em si”, cujo cálculo foi considerado muito lento, o que gerou algumas críticas ao modelo, uma vez que a adoção de uma solução empírica para um modelo racional resulta em limitações (Parsons, 2014, p. 506; Zare, et al., 2018).

Essa versão do método para um cálculo rápido “enfraquece a razão para usar um modelo térmico abrangente, que foi a principal premissa em que o UTCI foi baseado” e apesar desta limitação fornece uma contribuição útil (Parsons, 2014, p. 506).

<sup>2</sup> <http://www.utci.org>

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e dados utilizados no presente trabalho foram obtidos de fontes secundárias, nomeadamente de uma parceria entre a Universidade do Porto e o Exército Português. Os dados obtidos nesta parceria foram recolhidos seguindo um método experimental, no qual durante o experimento “o cientista toma providências para que alguma coisa ocorra, a fim de observar o que se segue” (Gil, 2008, p. 16).

No contexto deste trabalho, o meio técnico de investigação utilizado foi o método observacional, já que aqui se observa o que acontece ou já aconteceu. Sendo este trabalho sedimentado em uma pesquisa documental, valendo-se de materiais que não receberam o tratamento analítico e que podem ser reelaborados de acordo com os objetivos desta pesquisa (Gil, 2008). Ressalta-se que foram asseguradas as condições em que os dados foram obtidos e que foram analisados para verificar possíveis incoerências ou contradições.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Biomecânica do Porto (LABIOMEPE), localizado na Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (FADEUP) e no Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais e Ambientais (PROA), localizado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

A população deste estudo foram jovens militares do Exército Português, pertencente aos quartéis da região norte, objetivando verificar a aplicabilidade de índices de *stress* térmico no contexto real de trabalho militar.

Os dados recolhidos nos ensaios foram tratados com o *software Microsoft Excel 2010*.

No que se refere ao cálculo dos índices abordados neste estudo, o índice WBGT foi calculado com suporte do *software* disponibilizado no *site* do *United States Department of Labor*<sup>3</sup>; o índice PHS foi obtido com base no *software* disponibilizado pela Universidade de Lund<sup>4</sup> (Suécia); e o índice UTCI foi calculado pela calculadora *online*<sup>5</sup> disponibilizada pelos próprios autores do índice.

Nas próximas secções são apresentadas: a caracterização da amostra; a caracterização do vestuário; os protocolos dos testes realizados; os equipamentos e instrumentos de medição utilizados; e os critérios utilizados para interrupção dos ensaios.

#### 3.1 Caracterização da amostra

Os indivíduos que participaram dos testes eram do género masculino, trabalhadores do exército português, e foram selecionados aleatoriamente dentre unidades pertencentes aos quartéis da região norte do país. Por motivos de proteção de identidade, cada um deles é referido neste estudo como M0X, onde “X” se refere ao número de teste atribuído.

---

<sup>3</sup> [https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_iii/otm\\_iii\\_4.html](https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_4.html) (acedido em 03/09/2019).

<sup>4</sup> [http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk\\_miljoe/PHS/PHS.html](http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PHS/PHS.html) (acedido em 03/09/2019).

<sup>5</sup> <http://www.utci.org/utcienu/utcienu.php> (acedido em 03/09/2019).

A amostra inicial contava com 9 indivíduos, entretanto 4 foram excluídos do estudo em decorrência das seguintes razões: 1º) dores físicas, apesar de não ter sido descoberta nenhuma causa médica; 2º) cessou o contrato de trabalho com o exército durante o período de testes; 3º) foi excluído por razões médicas e o 4º) excluído no âmbito desta dissertação, pela insuficiência de dados. Totalizando assim uma amostra efetiva de 5 indivíduos.

Na data de início dos ensaios os indivíduos tinham suas idades compreendidas entre os 19 e 24 anos, com uma média de 22 anos de idade. Os indivíduos em questão apresentam um perfil físico semelhante com peso médio de 71,1 quilogramas, com desvio-padrão de 2,8 quilogramas e índice de massa corporal (IMC) médio de 23,4, com desvio-padrão igual a 1.

Nesta data, os participantes M01 e M02 preparavam-se fisicamente para as provas de aptidão militar (PAM), esta prova constitui a última etapa do processo de seleção dos candidatos à Academia Militar, a qual tem por missão formar oficiais destinados aos quadros permanentes do Exército Português e da Guarda Nacional Republicana (GNR)<sup>6</sup>.

O participante M04, maratonista, realizava treino de corrida habitualmente. Durante a execução do protocolo MCC em condições de *stress* térmico, o ensaio foi interrompido aos 16 minutos por sobreaquecimento do participante.

O participante M03, fumador, também teve o protocolo MCC em condições de *stress* térmico interrompido, devido dores intensas nos músculos da perna direita.

Por fim, ressalta-se que o participante M05 é ex-fumador, tendo este fumado por vários anos e cessado um ano antes da data inicial dos testes.

A amostra é heterogénea no que se refere ao estilo de vida adotado ao nível alimentar, da prática desportiva, dos períodos de descanso, entre outros, porém considerados saudáveis, não possuindo nenhum tipo de doença cardíaca, vascular, pulmonar ou alergias diagnosticadas; nenhum tipo de lesão muscular ou esquelética diagnosticada; além de não apresentarem nenhum tipo de disfunção nervosa ou cerebral e nem se encontrarem sob uso regular de medicamentos.

De acordo com a Declaração de Helsinque, todos os participantes deram consentimento informado antes de sua inclusão no estudo.

### 3.2 Vestuário

Para a realização de todos os ensaios, independentemente do protocolo aplicado, os participantes estavam equipados com a farda que utilizam em contexto real de trabalho. A farda dos militares é composta por camiseta de algodão, calças de algodão e botas militares (inclui-se no vestuário utilizado o uso de cuecas e meias, ambas também de algodão).

Em momentos necessários, como em treinos e missões, para além da farda, os militares são equipados com mochila preparada para um dia de campo ou combate (a qual inclui: fardamento suplente, tenda, saco cama e refeições); cinturão com cantil e carregadores; e sua arma.

---

<sup>6</sup> <https://academiamilitar.pt/> (acedido em 12/09/2019).



A caracterização térmica do vestuário foi apoiada na norma ISO 9920:2007 e é apresentada na secção [Determinação do isolamento do vestuário](#). É importante mencionar que a norma em questão não trata do isolamento térmico da mochila utilizada pelos militares, pelo que seu isolamento foi estimado.

A estimativa do isolamento térmico da mochila foi efetuada, devido a sua capacidade de promover aquecimento no corpo dos participantes, especialmente na região das costas, cuja influência não deve ser ignorada. Na Figura 2 é apresentado o vestuário militar completo utilizado em um dia de campo ou combate.



Figura 2 – Vestuário militar de treino de combate

Fonte: PROA

Neste sentido, foi selecionada uma peça de vestuário, nomeadamente um colete multicomponente de alto isolamento fabricado em poliéster e poliamida, que são os mesmos materiais usualmente utilizados na fabricação de mochilas.

Os dados referentes ao isolamento foram obtidos no Anexo B da norma, o qual apresenta valores de isolamento térmico para peças individuais.

O colete ocupa 33% da superfície corporal e tem isolamento de 0,2 clo. Cujas área de ocupação corporal foi recalculada de forma a considerar a área ocupada nas costas, ombros e região peitoral.

O Anexo H – *Guidance on the determination of the covered body surface area*, descreve que o seguimento das costas representa 9,2% da área corporal. Entretanto a área das demais partes ocupadas pela mochila, como ombros e região peitoral não são contempladas de forma isolada na norma.

Considerando o colete dividido em duas metades, cada metade ocuparia o equivalente a 16,5% do corpo, sendo assim, optou-se por uma estimacão em 20% de área ocupada no corpo pela mochila. Neste sentido, o isolamento térmico estimado para a mochila foi de aproximadamente 0,12 clo.

Assim como a mochila, as botas militares não são consideradas na norma, pelo que usou-se o isolamento genérico de “botas” descrito na tabela B.1 do Anexo B (ISO 9920, 2007, p. 47).

### 3.3 Protocolos dos testes

Os protocolos apresentados neste estudo foram definidos em conjunto entre pesquisadores da Universidade do Porto e o Exército Português, visando recriar cenários ambientais reais, assim como as atividades realizadas durante o treino militar.

Os ensaios foram realizados em dois protocolos, ocorrendo cada um deles em duas condições ambientais distintas, sendo elas:

- 1) Teste em condição termoneutral: com a temperatura do ar controlada em  $22^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e com humidade relativa de  $40\% \pm 2\%$ . Condição na qual não há exposicão ao fator de *stress* ambiental;
- 2) Teste em condição de *stress* térmico: com a temperatura do ar controlada em  $40^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e com humidade relativa de  $30\% \pm 2\%$ . Esta condição foi definida para recriar as condições reais do Afeganistão, onde o Exército Português costuma realizar diferentes missões.

Para cada uma destas condições foram realizados dois protocolos:

- 1) Marcha sem carga; e
- 2) Marcha com carga.

Para garantir a integridade física dos indivíduos que participaram dos testes, alguns parâmetros foram controlados antes dos experimentos:

- Ingestão de água: não devia ser inferior a 1,5 litros por dia;
- Medicação: analgésico, anti-histamínico, antipirético etc;
- Sono: não privação de sono (mínimo de 6 horas de sono);
- Álcool ou cafeína: sem excessos nas 12 horas anteriores aos testes;
- Tempero alimentar.

A medicação e o uso de drogas podem tornar os usuários mais vulneráveis a desenvolver doenças provocadas por calor, assim como o álcool pode contribuir para um quadro de

desidratação e aumento da temperatura corporal durante a prática do exercício (Pryor, Bennett, O'Connor, Young, & Asplund, 2015).

Além disso, os indivíduos foram considerados não aclimatados.

Nas próximas subseções são detalhados cada um dos protocolos.

### **3.3.1 Protocolo 1: marcha sem carga (MSC)**

Este protocolo consistiu em um teste de intensidade submáxima, através do qual se objetivou atingir a sobrecarga corporal prolongando o esforço, sem alterar sua intensidade durante o teste. Para tanto os participantes marcharam sobre uma esteira, ajustada a 1% de inclinação, para simular condições reais de atrito no solo e do vento.

O teste foi realizado individualmente e dividido em duas etapas:

- 1) O participante devia permanecer entre 20 a 40 minutos no laboratório para estabilizar os valores de temperatura, e a seguir devia permanecer dentro da câmara climática por pelo menos 20 minutos sentado no caso do teste em ambiente termoneutral (22°C e 40% H.R.) ou por pelo menos 30 minutos sentado no caso do teste em ambiente quente (40°C e 30% H.R.), a fim de promover uma aclimação para criar um ponto de referência para o início do teste.
- 2) Após o período de estabilização da temperatura corporal, procedia-se ao estágio experimental principal com uma duração máxima de 20 minutos na esteira, programado a 6km/h. O esforço foi realizado de forma contínua, sem aquecimento prévio.

Todos os indivíduos passaram por estas duas etapas nas duas condições ambientais, independentemente no nível de aclimação.

### **3.3.2 Protocolo 2: marcha com carga (MCC)**

Este protocolo foi realizado de forma similar e na mesma sequência de testes que o “Protocolo 1: marcha sem carga (MSC)”, diferenciando neste caso, pelos indivíduos estarem equipados como se estivessem em um dia de treino de combate.

Para além do uniforme, no Protocolo 2, os participantes estavam equipados com mochila preparada para um dia de campo ou combate; cinturão com cantil e carregadores; e sua arma, o que perfaz um total de 29,2 kg de carga adicional.

## **3.4 Critérios de paragem**

A fim de proteger a integridade física dos participantes do ensaio, definiu-se critérios de paragem para ambos os protocolos. Sendo assim, todos os indivíduos foram monitorados em tempo real,

para que, caso qualquer um dos critérios fosse extrapolado, o teste ser interrompido imediatamente.

Os critérios foram:

- Temperatura interna: limitada em 38,5 °C. Este limite pode ser utilizado uma vez que os sujeitos eram saudáveis e estavam sob vigilância médica contínua, com recursos de emergência prontamente disponíveis (ISO 9886, 2004).
- Frequência cardíaca: não superior a frequência cardíaca máxima ( $FC_{\text{máx}}$ ) do indivíduo. O  $FC_{\text{máx}}$  do participante foi resultado da Equação (1).

### 3.5 Equipamentos e instrumentos

Na fase de ensaios laboratoriais foram utilizados diferentes equipamentos e instrumentos de medição, os quais são apresentados nesta secção.

Para fins de organização, esta secção está dividida entre os equipamentos e instrumentos utilizados a nível do indivíduo (monitoramento fisiológico) e a nível da simulação ambiental (câmara climática).

#### 3.5.1 Monitoramento fisiológico

Durante o período de testes, todos os participantes foram fisiologicamente monitorados em tempo real, através de diferentes parâmetros, os quais são apresentados nas próximas subsecções.

##### 3.5.1.1 *Temperatura interna*

A temperatura interna do corpo foi medida via intra-abdominal, a qual se aproxima da temperatura retal que é independente das condições ambientais e considerada das vias mais confiáveis de obtenção da temperatura interna (ISO 9886, 2004).

Esta medição, não-invasiva, foi realizada com recurso ao sensor de temperatura *Vital Sense*, o qual transita ao longo do trato digestivo inofensivamente e é eliminado do corpo naturalmente num período de 24 a 72 horas. Estes sensores foram ingeridos pelos participantes entre 9 a 12 horas antes do início do experimento e não foram recuperados.

Após ativados, via dispositivo externo, os sensores começam a transmitir um sinal e geram um código de identificação (ID). O ID de cada sensor foi registrado para posterior identificação do participante e do protocolo realizado.

As medições dos sensores são enviadas por telemetria, com precisão de 0,01°C para o sistema de gravação, através do *monitor Equivital EQ02 Life - Sensor Electronics Module (SEM)*, em tempo real, via Bluetooth.

### **3.5.1.2 Frequência cardíaca**

A frequência cardíaca (FC) foi útil na avaliação dos níveis de *stress* (ou esforço antecipado) sobre os participantes que poderia ser causado pela atividade, esforço estático, tensão térmica ou respostas psicológicas (Parsons, 2014).

Durante a execução dos protocolos a FC foi medida com o equipamento cardiopulmonar *Cosmed K4b2*.

### **3.5.1.3 Consumo de oxigénio**

O consumo de oxigénio ( $\text{VO}_2$ ) em humanos em repouso é de 3 a 4  $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , o que significa que, jovens saudáveis em repouso, com peso entre 50 e 100 kg, consome algo entre 0,15 e 0,4 litros de oxigénio por minuto. A maioria deste consumo, aproximadamente 80%, é usada pelo cérebro, coração, fígado e rins (Joyner & Casey, 2015).

O  $\text{VO}_2$  pode aumentar de 10 a 15 vezes acima dos valores em repouso durante o exercício para jovens saudáveis e sem treino, ou 20 vezes ou mais, para atletas de elite altamente treinados (Joyner & Casey, 2015).

Na relação entre ventilação pulmonar e consumo de oxigénio, no decurso de um esforço progressivo “há um nível de intensidade onde a ventilação aumenta de forma desproporcionada em relação ao  $\text{VO}_2$ ”, este aumento na ventilação resulta em um aumento da concentração de ácido láctico, que por sua vez é transformado em lactato de sódio, água e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sendo que este último precisa ser expulso na respiração (Gomes, 2017).

Esse processo dá origem a um aumento na ventilação que reflete na maior eliminação de  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ) do que no aumento do consumo de oxigénio ( $\text{VO}_2$ ), este aumento da ventilação sem correspondente proporcional ao  $\text{VO}_2$  (resposta fisiológica denominada ponto de rutura) levou a especulações sobre estar relacionado com o limiar láctico (nível de intensidade de esforço a partir do qual o lactato atinge concentrações acima dos valores de repouso) (Gomes, 2017).

Neste sentido, durante a execução dos protocolos, a troca de gases pulmonares foi medida respiração a respiração, utilizando o equipamento cardiopulmonar *Cosmed K4b2*.

### **3.5.1.4 Concentração de lactato**

A concentração de lactato foi medida através da recolha de uma amostra de sangue (aproximadamente 0,3 $\mu\text{L}$ ) do lóbulo da orelha direita do participante antes e logo após o término do exercício.

Foram recolhidas amostras no 3º, 5º e 7º minuto seguinte ao fim do exercício com o objetivo de encontrar o pico da produção de lactato. Se ao longo destas recolhas o valor da concentração continuasse a subir, ao 10º minuto, outra amostra deveria ser recolhida.

Estas medições foram realizadas com o equipamento *Lactate Pro*.

### **3.5.1.5 Desidratação**

A desidratação foi calculada através da perda de massa de água. Para tanto, em todos os ensaios, foram recolhidos e registrados o peso do participante antes e depois da realização dos testes. Após a saída do teste o participante tomava banho e trocava de roupa a fim de garantir que estava perfeitamente seco no momento da pesagem.

As pesagens foram realizadas em uma balança de precisão de 50 gramas com estadiómetro da marca *SECA Model 220*.

### **3.5.2 Câmara climática**

Os ensaios foram realizados na câmara climática *FITOCLIMA 25000 EC20* (3,60m x 3,20m x 2,4m), construída de acordo com as normas e diretivas da CE relativas a requisitos de saúde e segurança, instalada no Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais (PROA).

Esta câmara possibilita a realização de ensaios com controlo preciso das condições climáticas. Permitindo simular a exposição a diferentes ambientes térmicos, com uma gama de temperatura entre -20°C a +50°C e com uma variação da humidade relativa entre 30% a 98%. Além disso está equipada com sensores de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> e foi validada para testes em humanos.

Dentro da câmara foi instalada uma esteira modelo T2100 da marca *General Electric*, a qual foi utilizada para a realização dos exercícios físicos (marcha com e sem carga). A esteira permitiu o controlo da velocidade e grau do exercício realizado.

## PARTE 2

---





## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios e discussão dos mesmos estão organizados primeiramente pelos parâmetros fisiológicos, o que inclui a temperatura interna; a frequência cardíaca; o consumo de oxigénio; a concentração de lactato; a perda de massa; seguido pelo isolamento do vestuário utilizado pelos militares e a taxa metabólica de cada um dos participantes.

Na sequência são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação dos índices de avaliação e/ou previsão do *stress* térmico.

Foram elaboradas tabelas e/ou gráficos, em função dos protocolos realizados, onde são apresentadas as medições considerando desde o estado basal (início do experimento) até o final do experimento (considerando um curto intervalo de tempo após a conclusão do teste).

Foi recolhido um grande volume de informações e dados durante os ensaios. Entretanto, ressalta-se que não foram fornecidos, para este trabalho, a totalidade das recolhas feitas em laboratório.

Por esta razão, ao longo das tabelas e gráficos contidos nas próximas secções é possível encontrar campos sem preenchimento numérico, constando apenas um traço (foi utilizado o símbolo “-”). Quando observado este símbolo, indica-se a ausência de dados referente àquela medição específica.

### 4.1 Temperatura interna

As temperaturas internas registradas para cada um dos participantes foram organizadas e comparadas em gráficos individuais a fim de permitir a análise do comportamento deste parâmetro ao longo dos ensaios.

Salienta-se a importância da temperatura interna corporal, selecionada nos ensaios como critério de paragem, uma vez que, de acordo com a literatura especializada, a partir de 40 °C de temperatura interna existe o risco de convulsões e acima de 42 °C há desnaturação proteica, que leva à falência, por vezes em definitivo, de órgãos vitais.

Recordando que, a temperatura interna usualmente flutua a volta dos 37 °C e que o aumento da temperatura, neste estudo, estava limitado a 38,5 °C.

#### 4.1.1 Participante M01

As temperaturas internas do participante M01, que foram registadas durante os ensaios, estão apresentadas na Figura 3.

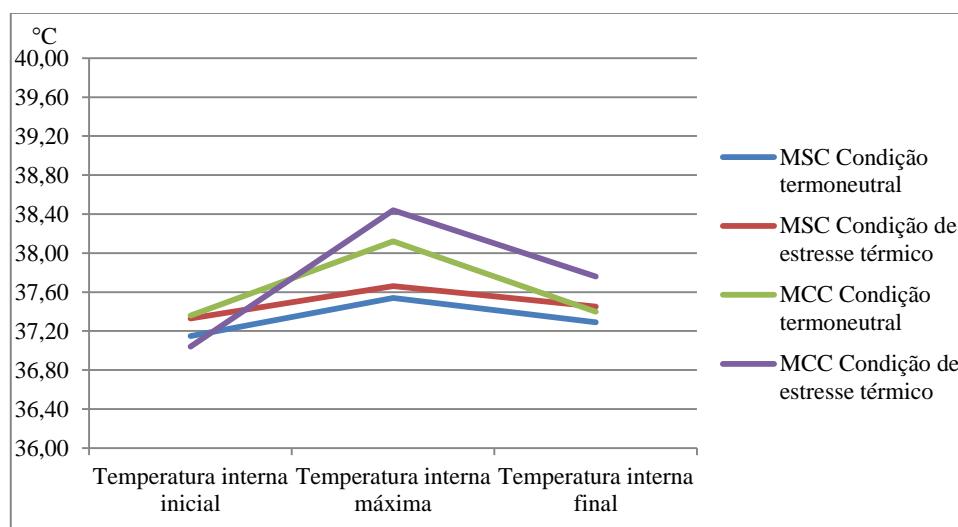


Figura 3 – Gráfico da temperatura interna (Participante M01)

Com base na análise dos dados, verifica-se que a temperatura interna do participante M01 apresentou valores maiores quando exposto a ambiente quente e com inserção de carga, mesmo em condição termoneutral. A partir da análise gráfica, é notável que a temperatura interna deste participante aumenta mais em função da carga, porém o ambiente quente agravou esta condição.

No protocolo MCC em condições de *stress*, a temperatura interna máxima atingiu o valor mais elevado entre todos os protocolos, levando a temperatura corporal do participante (38,44°C) a aproximar-se do limite máximo estabelecido para este estudo.

#### 4.1.2 Participante M02

As temperaturas internas do participante M02, que foram registradas durante os ensaios, estão apresentadas na Figura 4:

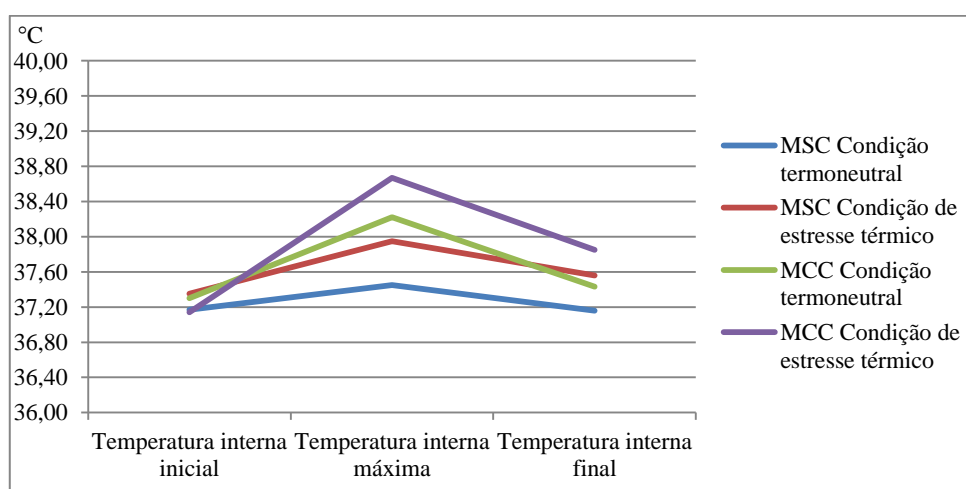


Figura 4 – Gráfico da temperatura interna (Participante M02)

A oscilação da temperatura interna do participante M02, ocorreu de forma similar a do participante M01. Houve elevação na temperatura interna quando o participante foi exposto a ambiente quente e com inserção de carga, ocorrendo aumento na temperatura deste participante em função da carga, porém o ambiente quente, novamente, agravou esta condição.

A temperatura interna do participante, após a realização do MCC em condição de *stress* térmico, ultrapassou o limite máximo, isto é, após a paragem do teste a temperatura continuou a subir até o pico de 38,67 °C e a seguir começou a reduzir até se estabilizar. Assim sendo, foi no protocolo MCC em condições de *stress* térmico, que a temperatura interna máxima atingiu o valor mais elevado entre todos os protocolos, seguido pela MCC em condição termoneutral.

#### 4.1.3 Participante M03

As temperaturas internas do participante M03, que foram registadas durante os ensaios, estão apresentadas na Figura 5:

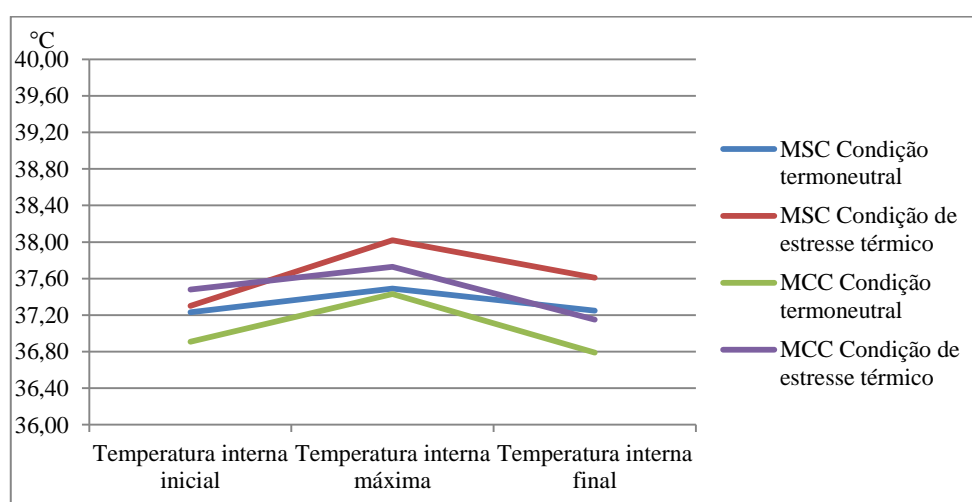


Figura 5 – Gráfico da temperatura interna (Participante M03)

A temperatura interna máxima foi atingida no protocolo MSC e em seguida no protocolo MCC, ambos em condições de *stress* térmico. Quando avaliados os protocolos em condição termoneutral, a inserção de carga não mostrou impacto. Por outro lado, quando se compara os protocolos MSC e MCC em ambiente quente com os realizados em ambiente termoneutral, a temperatura e humidade do ar se mostraram determinantes na oscilação da temperatura interna.

É possível que a interrupção da execução do protocolo MCC em condição de *stress* térmico, tenha contribuído na parada da subida da temperatura interna nas condições estabelecidas para este protocolo.

#### 4.1.4 Participante M04

As temperaturas internas do participante M04, que foram registadas durante os ensaios, estão apresentadas na Figura 6.

Os dados referentes ao protocolo do MSC em condição de *stress* térmico não estavam disponíveis e portanto não foi possível analisá-los.

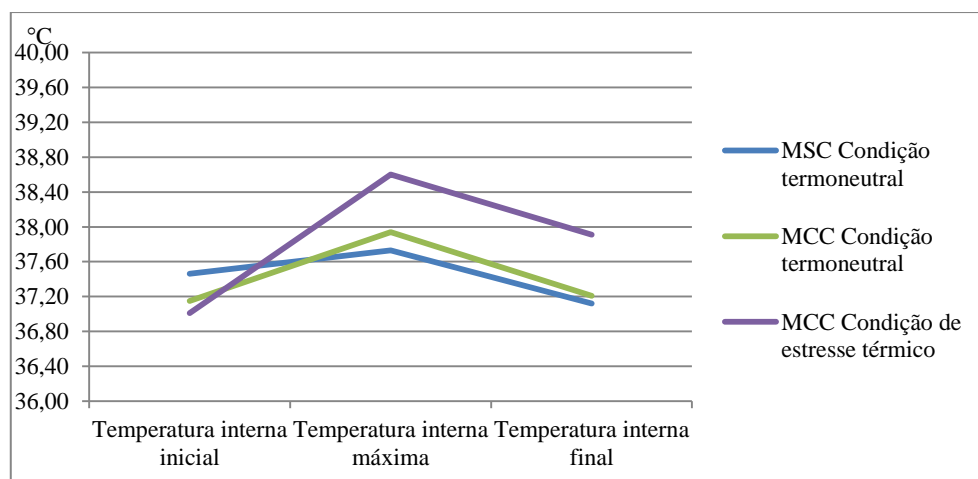


Figura 6 – Gráfico da temperatura interna (Participante M04)

A temperatura interna máxima do participante ocorreu no protocolo MCC em condição de *stress* térmico, atingindo um pico de 38,6 °C. A execução deste protocolo foi interrompida logo que o participante M04 atingiu o limite máximo da temperatura interna delimitada como critério de paragem, e ultrapassou ligeiramente este limite após a interrupção da atividade.

Quando comparado os protocolos MCC, em ambiente termoneutral e em ambiente quente, é notável a forte influência da temperatura e humidade do ar na subida da temperatura interna.

#### 4.1.5 Participante M05

As temperaturas internas do participante M05 estão apresentadas na Figura 7.

Os dados referentes a condição de *stress* térmico, tanto para o protocolo MSC quanto para o MCC, não estavam disponíveis, o que não permitiu tirar conclusões a respeito das temperaturas internas do participante nestas situações.

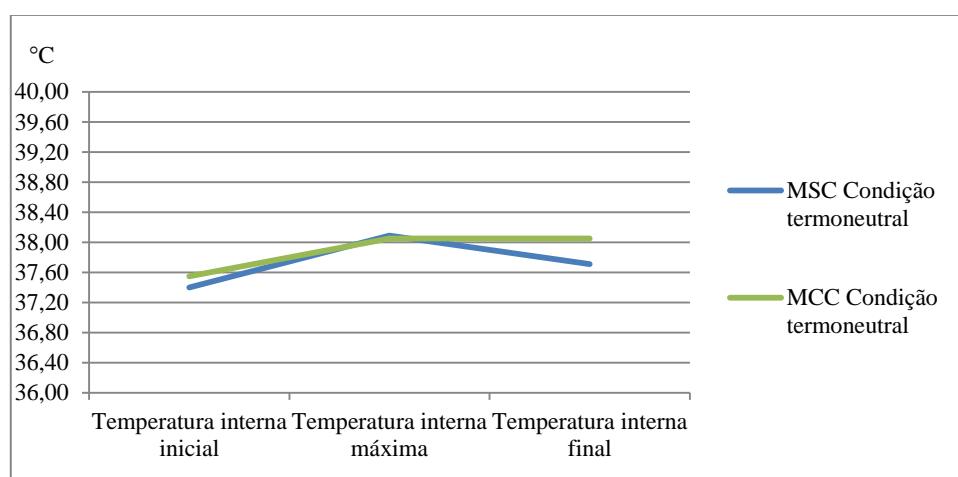


Figura 7 – Gráfico da temperatura interna (Participante M05)

As temperaturas internas máximas atingidas pelo participante M05 foram similares em ambos os protocolos, MSC e MCC, em condição termoneutral. A partir da Figura 7 é possível verificar que a inserção de carga não teve influência significativa no que se refere a elevação da temperatura interna corporal.

## 4.2 Frequência cardíaca

Assim como a temperatura interna, a frequência cardíaca foi selecionada como critério de paragem, uma vez que o seu aumento também é um indicador da tensão térmica experimentada. Estando, segundo as referências teóricas estudadas, a variação da frequência cardíaca diretamente ligada com a variação da temperatura interna.

Os dados relativos ao comportamento da FC de cada um dos participantes foram organizados em tabelas, nas quais estão indicadas, além das FC iniciais e finais, as FC mais elevadas atingidas durante o período de medição dos protocolos.

A FC máxima foi calculada a partir da Equação (1), apresentada na subsecção [condições fisiológicas](#).

Os valores apresentados são resultado da média de cada minuto de exercício realizado, sendo o valor do gradiente ( $\Delta FC$ ) um valor médio resultado da diferença entre a frequência cardíaca que ocorreu no início do teste e a média do último minuto de exercício.

### 4.2.1 Participante M01

Baseado na literatura especializada, a FC máxima do participante M01 é de aproximadamente 201 bpm. O resumo do comportamento da frequência cardíaca do participante é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Frequência cardíaca (Participante M01)

M01		FC inicial (bpm)	FC final (bpm)	FC máxima atingida (bpm)	$\Delta$ FC (bpm)
MSC	Condição termoneutral	73	117	127	45
	Condição de <i>stress</i> térmico	77	147	150	69
MCC	Condição termoneutral	77	158	166	82
	Condição de <i>stress</i> térmico	85	190	193	105
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga					

Com base nos valores da Tabela 2 é possível verificar uma progressão nos batimentos cardíacos do participante sempre que este foi exposto ao ambiente quente, como também quando houve inserção de carga na execução do exercício.

Quando avaliados os protocolos em condição termoneutral nota-se influência significativa da carga no aumento da FC. Sendo esta situação agravada com o aumento da temperatura e redução da humidade do ar.

Verifica-se também que em nenhum momento a FC máxima do participante foi ultrapassada.

O desenvolvimento da FC do participante M01 se deu em harmonia com o desenvolvimento da temperatura interna, indo de encontro ao exposto na literatura. Em ambos os parâmetros, os valores críticos foram atingidos no protocolo MCC em condição de *stress* térmico.

#### 4.2.2 Participante M02

A FC máxima do participante M02 é de aproximadamente 198 bpm e o resumo do comportamento da frequência cardíaca durante os protocolos está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Frequência cardíaca (Participante M02)

M02		FC inicial (bpm)	FC final (bpm)	FC máxima atingida (bpm)	$\Delta$ FC (bpm)
MSC	Condição termoneutral	74	112	133	38
	Condição de <i>stress</i> térmico	76	131	136	55
MCC	Condição termoneutral	77	152	163	75
	Condição de <i>stress</i> térmico	79	172	178	93
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga					

Tal como observado no participante M01, verifica-se uma progressão nos batimentos cardíacos do participante M02 sempre que exposto ao ambiente quente, como também quando houve inserção de carga na execução do exercício.

Quando avaliados os protocolos em condição termoneutral nota-se influência significativa da carga no aumento da FC. Sendo esta situação agravada com o aumento da temperatura e redução da humidade do ar.

Verifica-se também que em nenhum momento a FC máxima do participante foi ultrapassada.

O desenvolvimento da FC do participante M02, também se deu em harmonia com o desenvolvimento da temperatura interna, indo de encontro ao exposto na literatura. Em ambos os parâmetros, os valores críticos foram atingidos no protocolo MCC em condição de *stress* térmico.

#### 4.2.3 Participante M03

A FC máxima do participante M03, assim como a do participante M02, é de aproximadamente 198 bpm e o resumo do comportamento da frequência cardíaca durante os protocolos está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Frequência cardíaca (Participante M03)

M03		FC inicial (bpm)	FC final (bpm)	FC máxima atingida (bpm)	$\Delta$ FC (bpm)
MSC	Condição termoneutral	73	115	130	42
	Condição de <i>stress</i> térmico	-	-	-	-
MCC	Condição termoneutral	65	153	158	89
	Condição de <i>stress</i> térmico	74	172	175	98
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga					

As FC desenvolvidas durante a execução do protocolo MSC em condição de *stress* térmico não estavam disponíveis.

Ao analisar a Tabela 4 é possível verificar aumento considerável nos batimentos cardíacos do participante M03 quando exposto ao ambiente quente em simultâneo com a inserção de carga, quando em comparação com os demais protocolos.

Os testes realizados em condição termoneutral indicam influência da carga no aumento da FC. Sendo esta situação agravada em alta temperatura e baixa humidade do ar.

Assim como no caso dos participantes anteriores, a FC máxima não foi ultrapassada em nenhum dos protocolos.

Os valores críticos da FC foram atingidos no protocolo MCC em condição de *stress* térmico, mesmo com a interrupção do protocolo. E, neste ponto, distingue-se da temperatura interna, que apresentou seu pico na MSC em condição de *stress* térmico. Em todo caso, a componente ambiental continua a mostrar grande influência no incremento destes parâmetros.

#### 4.2.4 Participante M04

A FC máxima do participante M04 é de aproximadamente 196 bpm e o resumo do comportamento da frequência cardíaca durante os protocolos está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Frequência cardíaca (Participante M04)

M04		FC inicial (bpm)	FC final (bpm)	FC máxima atingida (bpm)	$\Delta$ FC (bpm)
MSC	Condição termoneutral	52	103	110	51
	Condição de <i>stress</i> térmico	66	122	128	56
MCC	Condição termoneutral	75	158	164	83
	Condição de <i>stress</i> térmico	91	167	170	76
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga					

Os valores obtidos referentes a FC inicial não são uniformes, o que pode ter sido causado por uma variação quanto ao momento que foi iniciada a medição ou mesmo por erros de leitura, e pode enviesar a avaliação do desempenho da FC baseado no  $\Delta$  FC. Entretanto com base na FC final e na FC máxima atingidas durante a execução dos protocolos, verifica-se que mantem o padrão dos demais participantes, ocorrendo progressão dos batimentos cardíacos do participante quando exposto ao ambiente quente e quando houve inserção de carga.

Quando avaliados os protocolos em condição termoneutral nota-se influência significativa da carga no aumento da FC. Sendo esta situação agravada com a elevação da temperatura e redução da humidade do ar.

Verifica-se também que em nenhum momento a FC máxima do participante foi ultrapassada.

O comportamento da FC do participante também se deu em harmonia com o comportamento da temperatura interna. Em ambos os parâmetros, os valores críticos foram atingidos no protocolo MCC em condição de *stress* térmico, seguido pelo protocolo MCC em condição termoneutral.

#### 4.2.5 Participante M05

A FC máxima do participante M05 é de aproximadamente 199 bpm. O resumo do comportamento da frequência cardíaca do participante é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Frequência cardíaca (Participante M05)

M05		FC inicial (bpm)	FC final (bpm)	FC máxima (bpm)	$\Delta$ FC (bpm)
MSC	Condição termoneutral	81	126	140	45
	Condição de <i>stress</i> térmico	97	149	160	52
MCC	Condição termoneutral	99	173	175	74
	Condição de <i>stress</i> térmico	93	177	184	84
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga					

Tal como observado nas demais situações, houve progressão nos batimentos cardíacos do participante sempre que este foi exposto ao ambiente quente, como também quando houve inserção de carga na execução do exercício.



Quando avaliados os protocolos em condição termoneutral nota-se influência significativa da carga no aumento da FC. Sendo esta situação agravada com o aumento da temperatura e redução da humidade do ar.

Verifica-se também que em nenhum momento a FC máxima do participante foi ultrapassada.

Como os dados da temperatura interna do participante M05 estão limitados ao MSC e MCC em condição termoneutral, não é possível fazer uma comparação da relação direta entre os dois parâmetros em condições de *stress* térmico. Em todo caso, os valores críticos da FC foram atingidos no protocolo MCC em condição de *stress* térmico, seguido pelo protocolo MCC em condição termoneutral.

Diferente do incremento ocorrido na FC durante a execução do protocolo MCC em condição termoneutral, quando comparado com a MSC na mesma condição, a temperatura interna máxima não sofreu grande variação com a adição da carga.

### **4.3 Consumo de oxigénio**

O consumo de oxigénio, assim como a frequência cardíaca, varia de acordo com a intensidade do exercício, e é assumido que existe uma relação direta e uma variação proporcional entre estes dois parâmetros (Gomes, 2017).

Como discurrido na secção anterior, a [Frequência cardíaca](#) de todos os participantes progrediu sempre que estes foram expostos ao ambiente quente, como também quando houve inserção de carga na execução do exercício. Diferente do esperado, essa mesma variação não foi observada no consumo de oxigénio, o qual apresentou valores mais elevados maioritariamente nas marchas em ambiente termoneutral, o que levou a investigar as causas por trás dos números encontrados.

Verificando os valores obtidos na medição das trocas gasosas ( $VO_2$  e  $VCO_2$ ), foi observado que durante a execução dos protocolos, com e sem carga, sob *stress* térmico os participantes estavam em hiperventilação e, em não raras vezes, a emissão de dióxido de carbono superou o consumo de oxigénio, o que pode indicar que o corpo dos participantes entrou em trabalho anaeróbico.

Em todo caso, todos os dados fornecidos foram sintetizados em tabelas e organizados por participante em função da marcha com e sem carga e em função das condições térmicas.

#### **4.3.1 Participante M01**

Os dados relativos ao consumo de oxigénio do participante M01 obtidos durante os ensaios estão sintetizados na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo de oxigénio (Participante M01)

M01		VO <sub>2</sub> médio (L/min)
MSC	Condição termoneutral	1,73
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,60
MCC	Condição termoneutral	2,39
	Condição de <i>stress</i> térmico	2,26
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Tal como previsto na literatura o consumo de oxigénio aumentou com o aumento da intensidade do exercício, dado pela inserção de carga. Comparando os protocolos MSC e MCC, é possível verificar que a inclusão de carga exerceu influência significativa na elevação do consumo de oxigénio, promovendo um aumento considerável em comparação ao protocolo sem carga.

Não se verifica a mesma influência da condição ambiental no VO<sub>2</sub>, observando-se maiores valores médios de consumo nos protocolos MSC e MCC realizados em condição termoneutral.

#### 4.3.2 Participante M02

Os dados relativos ao consumo de oxigénio do participante M02 obtidos durante os ensaios estão sintetizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Consumo de oxigénio (Participante M02)

M02		VO <sub>2</sub> médio (L/min)
MSC	Condição termoneutral	2,24
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,92
MCC	Condição termoneutral	2,96
	Condição de <i>stress</i> térmico	2,29
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Assim como no caso do participante M01, o consumo de oxigénio aumentou com o aumento da carga no exercício. Comparando os protocolos MSC e MCC, é possível verificar que a inserção de carga também exerceu influência significativa na elevação no consumo de oxigénio, promovendo um maior aumento no consumo em comparação ao protocolo sem carga.

Também não se verificou a mesma influência da condição ambiental no VO<sub>2</sub>, observando-se maiores valores médios de consumo nos protocolos MSC e MCC realizados em condição termoneutral.

### 4.3.3 Participante M03

Os dados relativos ao consumo de oxigénio do participante M03 obtidos durante os ensaios estão sintetizados na Tabela 9.

Tabela 9 – Consumo de oxigénio (Participante M03)

M03		VO <sub>2</sub> médio (L/min)
MSC	Condição termoneutral	1,78
	Condição de <i>stress</i> térmico	-
MCC	Condição termoneutral	2,23
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,64
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Os valores do VO<sub>2</sub> na MSC em condição de *stress* térmico não estavam disponíveis.

Comparando os protocolos MSC e MCC em ambiente termoneutral, é possível verificar que a inserção de carga exerceu influência significativa na elevação do consumo de oxigénio em comparação ao protocolo sem carga. Não sendo possível fazer esta mesma comparação em condições de *stress* térmico devido a falta de dados.

A interrupção do teste na MCC em ambiente quente pode ter influenciado o resultado obtido neste protocolo. Entretanto, considerando os valores obtidos, o maior valor médio do VO<sub>2</sub> é observado no protocolo MCC realizado em condição termoneutral.

### 4.3.4 Participante M04

Os dados relativos ao consumo de oxigénio do participante M04 obtidos durante os ensaios estão sintetizados na Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo de oxigénio (Participante M04)

M04		VO <sub>2</sub> médio (L/min)
MSC	Condição termoneutral	2,10
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,74
MCC	Condição termoneutral	2,92
	Condição de <i>stress</i> térmico	2,96
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Comparando os protocolos MSC e MCC, verifica-se que a inserção de carga exerceu influência na elevação no consumo de oxigénio em ambas as condições ambientais, quando em comparação ao protocolo sem carga.

Diferente do ocorrido até então, o maior valor médio de consumo de oxigénio foi alcançado no protocolo MCC em condição de *stress* térmico.

Ressalta-se também que o M04 foi o único participante que não extrapolou de forma significativa a relação entre o consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono, além de ter sido o que apresentou a menor  $FC_{máx}$  no protocolo MCC em ambiente quente.

Dentre os fatores que podem estar relacionados com este resultado têm-se a interrupção do ensaio que pode ter influenciado para que este participante não entrasse em hiperventilação ou também o fato deste participante ser maratonista, que pode ter contribuído para uma melhor relação entre  $VO_2$  e  $VCO_2$  e estabilidade na FC.

Quando se compara os testes com e sem carga, nas mesmas condições ambientais, também é possível verificar que a inserção de carga exerceu influência significativa na elevação do consumo de oxigênio em comparação aos protocolos sem carga.

#### 4.3.5 Participante M05

Os dados relativos ao consumo de oxigênio do participante M05 obtidos durante os ensaios estão sintetizados na Tabela 11.

Tabela 11 – Consumo de oxigênio (Participante M05)

M05		VO <sub>2</sub> médio (L/min)
MSC	Condição termoneutral	1,90
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,60
MCC	Condição termoneutral	3,18
	Condição de <i>stress</i> térmico	2,90
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Ao analisar os valores dos protocolos MSC e MCC, percebe-se que o consumo de oxigênio foi fortemente impactado com o aumento da carga no exercício, promovendo significativa elevação no  $VO_2$  quando em comparação ao protocolo sem carga.

Quando se compara isoladamente as condições ambientais em que os protocolos foram executados, os maiores valores médios de consumo são alcançados em ambiente termoneutral, não verificando portanto a mesma influência da condição ambiental, que a da inserção de carga, no aumento do  $VO_2$ .

Os maiores valores médios de consumo de oxigênio ocorreram nos protocolos com carga, atingindo o valor mais alto em condição termoneutral, seguido pela condição de *stress* térmico.

#### 4.4 Concentração de lactato

Os valores obtidos a partir da medição da concentração de lactato no sangue foram avaliados a fim de verificar a condição de que em exercícios aeróbicos submáximos de baixa intensidade o

lactato pode não alterar significativamente em relação aos valores de repouso, assim como verificar se o aumento da carga durante a execução do exercício e a condição de *stress* térmico também aumentam a concentração de lactato no sangue.

Como já mencionado, as amostras de sangue capilar foram recolhidas logo após o exercício, estando seus resultados apresentados em tabelas ao longo desta secção. Sendo a concentração de lactato medida em milimol por litro de sangue (mmol/L).

O momento imediatamente após a conclusão do exercício é representado por “0 min”. São também apresentadas as medições realizadas 3, 5 e/ou 7 minutos após a conclusão do ensaio.

Os resultados individuais estão apresentados em função da execução da marcha com ou sem carga.

#### 4.4.1 Participante M01

Os valores medidos para cada um dos ensaios do participante M01 estão reunidos na Tabela 12.

Tabela 12 – Concentração de lactato no sangue (Participante M01)

M01		Concentração de lactato (mmol/L)					Concentração máxima de lactato
		0 min	3 min	5 min	7 min	10 min	(mmol/L)
MSC	Condição termoneutral	1,1	-	-	-	-	1,1
	Condição de <i>stress</i> térmico	0,9	1,6	1,3	-	-	1,6
MCC	Condição termoneutral	1,3	-	1,3	1,4	-	1,4
	Condição de <i>stress</i> térmico	0,8	2,4	2,2	2,1	-	2,4
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga							

Quando comparados os protocolos MSC e MCC em condição termoneutral a inserção de carga promoveu um ligeiro aumento concentração de lactato no sangue, já uma comparação destes resultados com os obtidos em condição de *stress* térmico mostra uma influência significativa das características ambientais no aumento da concentração de lactato.

No caso do participante M01, tanto a exposição a condições de *stress* térmico, quanto a inclusão de carga refletiram num aumento da concentração de lactato, apresentando a concentração máxima mais elevada no protocolo MCC em condição de *stress* térmico.

#### 4.4.2 Participante M02

Os valores medidos para cada um dos ensaios do participante M02 estão reunidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Concentração de lactato no sangue (Participante M02)

M02		Concentração de lactato (mmol/L)					Concentração máxima de lactato
		0 min	3 min	5 min	7 min	10 min	(mmol/L)
MSC	Condição termoneutral	1,4	1,2	1,3	1,2	-	1,4
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,0	1,5	1,8	1,3	-	1,8
MCC	Condição termoneutral	1,8	-	-	-	-	1,8
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,0	1,9	1,7	1,6	-	1,9
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga							

Ao comparar o protocolo MSC em condição termoneutral com os demais protocolos é possível verificar um incremento na concentração de lactato no sangue quando houve exposição ao ambiente em condições de *stress* térmico, como também quando houve inclusão de carga.

No caso do participante M02, assim como no do participante M01, tanto a exposição a condições de *stress* térmico, quanto a inclusão de carga refletiram num aumento da concentração de lactato no sangue. Ocorrendo a concentração máxima de lactato mais elevada no protocolo MCC em condição de *stress* térmico.

#### 4.4.3 Participante M03

Os valores medidos para cada um dos ensaios do participante M03 estão reunidos na Tabela 14.

Tabela 14 – Concentração de lactato no sangue (Participante M03)

M03		Concentração de lactato (mmol/L)					Concentração máxima de lactato
		0 min	3 min	5 min	7 min	10 min	(mmol/L)
MSC	Condição termoneutral	1,1	-	1,4	1,2	-	1,4
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,2	1,7	1,6	1,4	-	1,7
MCC	Condição termoneutral	1,3	2,8	2,7	2,4	-	2,8
	Condição de <i>stress</i> térmico	0,9	3,6	-	3,4	-	3,6
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga							

A variação na concentração de lactato no sangue do participante M03 em função do protocolo realizado teve o mesmo desempenho observado nos participantes M01 e M02, isto é, tanto a exposição a condições de *stress* térmico, quanto a inclusão de carga refletiram num aumento da concentração de lactato no sangue.

A concentração máxima de lactato foi observada no protocolo MCC em condição de *stress* térmico. O valor da concentração atingida, mesmo com a interrupção deste protocolo, pode explicar a necessidade do participante em interromper o exercício, uma vez que o acúmulo de lactato nos músculos pode causar dor e desconforto<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> [http://www.corpore.org.br/cws\\_exibeconteudogeral\\_496.asp](http://www.corpore.org.br/cws_exibeconteudogeral_496.asp) (acedido em 07/09/2018)

#### 4.4.4 Participante M04

Os valores medidos para cada um dos ensaios do participante M04 estão reunidos na Tabela 15.

Tabela 15 – Concentração de lactato no sangue (Participante M04)

M04		Concentração de lactato (mmol/L)					Concentração máxima de lactato (mmol/L)
		0 min	3 min	5 min	7 min	10 min	
MSC	Condição termoneutral	1,9	-	-	-	-	1,9
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,6	1,1	1,1	-	-	1,6
MCC	Condição termoneutral	1,6	2,6	2,4	-	-	2,6
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,1	1,9	1,6	1,9	1,3	1,9
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga							

A concentração de lactato no sangue do participante M04 na MSC, diferente dos demais participantes, foi maior em condição termoneutral do que em *stress* térmico. E atingiu seu valor máximo quando houve inserção de carga, protocolo MCC em condição termoneutral.

Ressalta-se que a interrupção do protocolo MCC em condição de *stress* térmico pode ter influenciado para que a concentração de lactato neste protocolo não fosse a mais elevada quando comparada aos demais protocolos, tal como ocorreu com os demais participantes.

#### 4.4.5 Participante M05

Os valores medidos para cada um dos ensaios do participante M05 estão reunidos na Tabela 16.

Tabela 16 – Concentração de lactato no sangue (Participante M05)

M05		Concentração de lactato (mmol/L)					Concentração máxima de lactato (mmol/L)
		0 min	3 min	5 min	7 min	10 min	
MSC	Condição termoneutral	1,1	1,2	1,2	1,1	-	1,2
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,9	-	-	-	-	1,9
MCC	Condição termoneutral	-	-	-	-	-	-
	Condição de <i>stress</i> térmico	1,4	5,1	4,3	4,4	-	5,1
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga							

Tal como a variação na concentração de lactato no sangue dos participantes M01, M02 e M03 em função do protocolo realizado, no participante M05 é observado o mesmo desempenho, isto é, tanto a exposição a condições de *stress* térmico, quanto a inclusão de carga refletiram num aumento da concentração de lactato no sangue.

Nota-se um pico na concentração máxima de lactato no protocolo MCC em condição de *stress* térmico que destoa de todos os valores observados, como não há dados referente ao protocolo MCC em condição termoneutral, não é possível avaliar se foi o estímulo da carga em conjunto

com o ambiente quente que promoveu esse aumento significativo ou se ocorreu algum erro nas medições.

## 4.5 Perda de massa

Os dados recolhidos referentes a massa inicial e final dos participantes, permitiram o cálculo da perda de massa corporal, que foi realizado seguindo as orientações da norma ISO 9886:2004.

A perda de peso registada após os ensaios deve-se essencialmente a perda de líquidos pelo suor (transpiração e evaporação) provocado pela atividade.

A norma ISO 7933:2004 recomenda valores de perda de massa corporal para uma operação normal de 8 horas por dia (40 horas semanais) e descreve que a taxa de suor deve ser limitada a 1,0 L/h para indivíduos não aclimatados e a 1,25 L/h para indivíduos aclimatados.

Os resultados das perdas de massa ocorridas para cada um dos participantes estão apresentados em função das condições termoneutrais e de *stress* térmico. E são apresentados em duas unidades de medidas distintas: nas tabelas em percentagem de perda de massa corporal (%) e nos gráficos em litros por hora (L/h).

### 4.5.1 Participante M01

A percentagem de perda de massa corporal do participante M01 está organizada na Tabela 17.

Tabela 17 – Perda de massa corporal (Participante M01)

M01		% de perda de massa corporal (%)
Condição termo neutral	MSC	0,36%
	MCC	0,51%
Condição de <i>stress</i> térmico	MSC	1,32%
	MCC	1,91%
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Com base na análise dos dados obtidos, verifica-se que a perda de massa aumenta proporcionalmente ao aumento de temperatura e diminuição da humidade do ar, como também aumenta com a inclusão de carga. Entretanto, é possível verificar que a condição térmica exerceu maior influência na perda massa, indicando grande impacto na perda de líquidos.



As perdas de massa, em litros por hora, do participante M01 estão representadas na Figura 8.

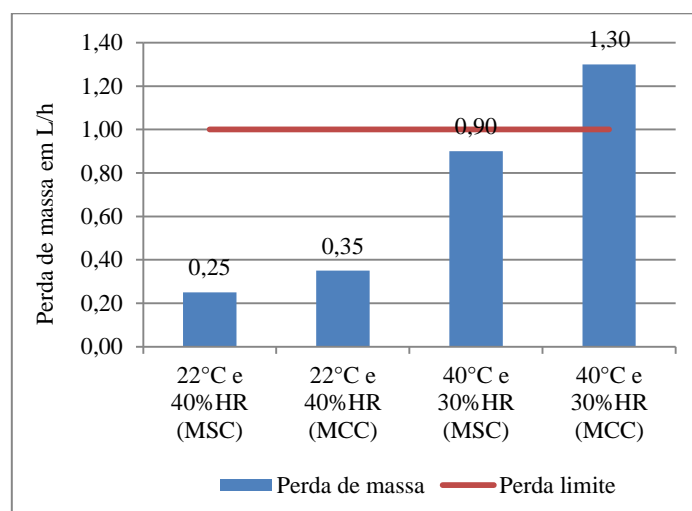


Figura 8 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M01)

O desempenho no protocolo MCC em condição de *stress* térmico chama atenção, pois a perda de massa ultrapassou o limite fixado pela norma para indivíduos não aclimatados. A perda de líquido nos demais protocolos se manteve dentro do limite.

#### 4.5.2 Participante M02

A percentagem de perda de massa corporal do participante M02 está organizada na Tabela 18.

Tabela 18 – Perda de massa corporal (Participante M02)

M02		% de perda de massa corporal (%)
Condição termoneutral	MSC	1,39%
	MCC	1,20%
Condição de <i>stress</i> térmico	MSC	-0,13%
	MCC	1,60%
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Ao analisar os dados referentes aos ensaios do participante M02, verifica-se uma incoerência na MSC em condição de *stress* térmico, o que não permite realizar uma avaliação correta.

As demais perdas de massa do participante M02 estão representadas na Figura 9.

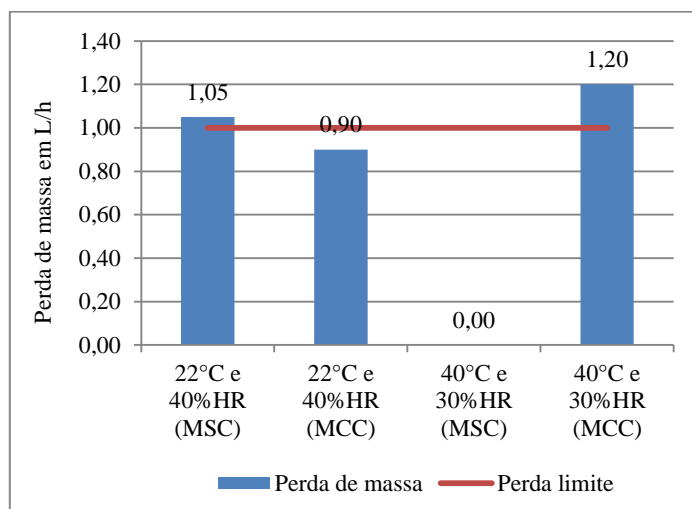


Figura 9 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M02)

Comparando os protocolos em condição termoneutral, a inserção de carga não promoveu redução na massa corporal tal como ocorreu com o participante M01.

O protocolo MCC em condição de *stress* térmico resultou na perda de massa mais crítica. E extrapolou, assim como o MSC em condição termoneutral, o limite máximo da norma.

#### 4.5.3 Participante M03

A percentagem de perda de massa corporal do participante M03 está organizada na Tabela 19.

Tabela 19 – Perda de massa corporal (Participante M03)

M03		% de perda de massa corporal (%)
Condição termoneutral	MSC	1,37%
	MCC	0,56%
Condição de <i>stress</i> térmico	MSC	1,88%
	MCC	1,84%
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Com base na análise dos dados do participante M03, verifica-se que sua perda de massa aumentou com o aumento de temperatura e diminuição da humidade do ar, indicando grande impacto das condições ambientais na desidratação corporal.

As perdas de massa, em litros por hora, do participante M03 estão representadas na Figura 10.

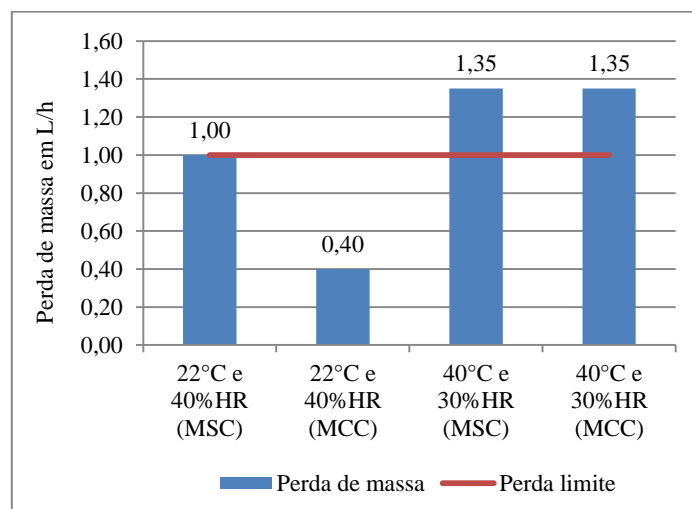


Figura 10 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M03)

Mesmo com a interrupção do protocolo MCC em condição de *stress* térmico, este, juntamente com o MSC nas mesmas condições ambientais, apontam uma condição crítica, pois ultrapassaram o limite da perda de líquidos.

A perda de líquido na MSC em condição termoneutral chegou a atingir o limite, e o MCC nesta mesma condição permaneceu dentro da normalidade. Quando comparados os dois protocolos executados em condição termoneutral, a inserção de carga não teve impacto.

#### 4.5.4 Participante M04

A percentagem de perda de massa corporal do participante M04 está organizada na Tabela 20.

Tabela 20 – Perda de massa corporal (Participante M04)

M04		% de perda de massa corporal (%)
Condição termoneutral	MSC	0,71%
	MCC	1,13%
Condição de <i>stress</i> térmico	MSC	1,27%
	MCC	2,20%
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

A perda de massa do participante M04 aumentou proporcionalmente ao aumento da temperatura e diminuição da humidade do ar, e a inclusão de carga. É possível verificar que a condição

térmica, juntamente com a inserção da carga, exerceu grande influência no participante, impactando diretamente na perda de líquidos.

As perdas de massa, em litros por hora, do participante M04 estão representadas na Figura 11.

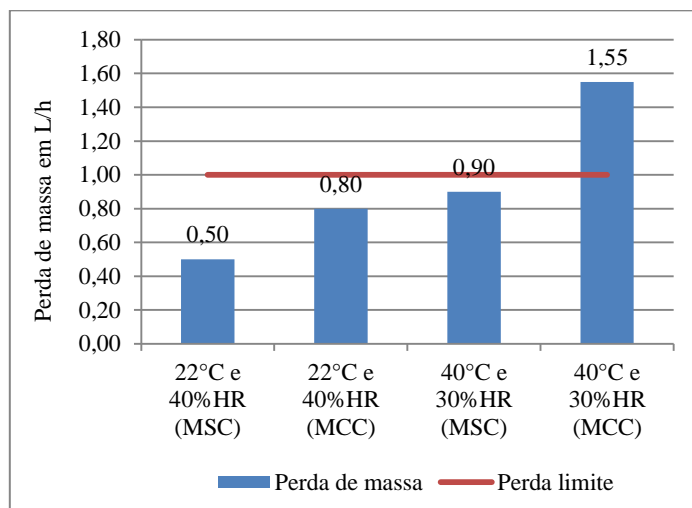


Figura 11 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M04)

O protocolo MCC em condição de *stress* térmico chama atenção devido a grande perda de massa registada mesmo sendo interrompido antes do tempo previsto. Esta situação pode ter sido influenciada pelo fato do participante ser maratonista, o que o enquadra no perfil desportista, que durante um trabalho físico mais intenso (em clima temperado) perde pelo suor aproximadamente 2 litros de água por hora (Gomes, 2017).

A perda de líquido nos demais protocolos se manteve dentro do limite.

#### 4.5.5 Participante M05

A percentagem de perda de massa corporal do participante M05 está organizada na Tabela 21.

Tabela 21 – Perda de massa corporal (Participante M05)

M05		% de perda de massa corporal (%)
Condição termoneutral	MSC	0,50%
	MCC	1,35%
Condição de <i>stress</i> térmico	MSC	1,41%
	MCC	1,25%
MSC - Marcha sem carga; MCC - Marcha com carga		

Verifica-se que a perda de massa do participante M05 aumentou tanto com a inserção de carga quanto com o aumento da temperatura ambiente.

As perdas de massa, em litros por hora, do participante M05 estão representadas na Figura 12.

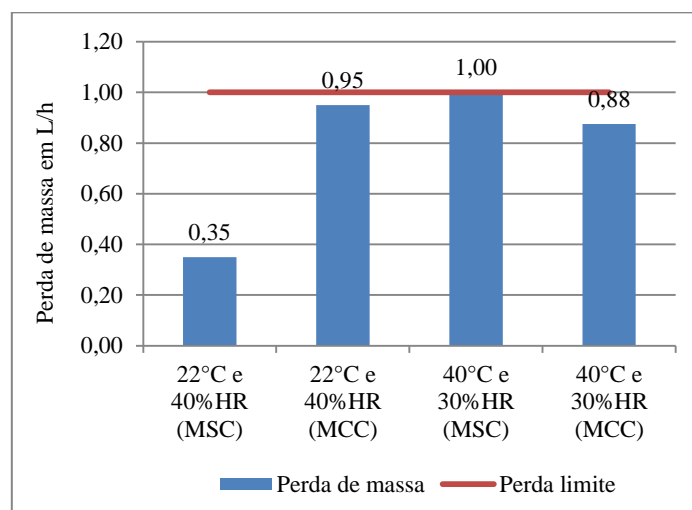


Figura 12 – Gráfico da percentagem de perda de massa (Participante M05)

Com exceção do protocolo MSC em condição termoneutral, em todos os demais protocolos o participante perdeu bastante líquido, porém não ultrapassou o limite.

Quando comparados os protocolos MSC e MCC em condições termoneutrais, há influência significativa da carga na perda de massa, entretanto quando se faz a mesma comparação em condições de *stress* térmico, a inserção de carga não mostrou grande influência, indicando grande impacto da temperatura ambiente na perda de massa do participante.

## 4.6 Isolamento do vestuário

Como já mencionado, a caracterização do vestuário foi realizada com base na norma ISO 9920:2007.

O isolamento total, promovido pelo vestuário completo, é dado pelo somatório do isolamento de cada peça, tal como indicado na fundamentação teórica deste trabalho: [Vestuário / equipamento utilizado](#). Por sua vez, o método utilizado na determinação do isolamento do vestuário é discutido na subsecção [Vestuário](#) dos MATERIAIS E MÉTODOS.

Os valores do isolamento térmico por peça considerados neste estudo são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Isolamento do vestuário militar

Vestuário	Isolamento <i>I<sub>clu</sub></i> (clo)
Roupa interior	0,04
Meias	0,02
T-shirt	0,10
Calça normal	0,26
Botas	0,10
Mochila	0,12

Com base na Equação (5), temos que o isolamento térmico do vestuário para a marcha sem carga (MSC) é de:

$$I_{cl} = 0,04 + 0,02 + 0,1 + 0,26 + 0,10$$

$$I_{cl} = 0,52 \text{ clo}$$

E o isolamento térmico do vestuário para a marcha com carga (MCC) é de:

$$I_{cl} = 0,04 + 0,02 + 0,1 + 0,26 + 0,10 + 0,12$$

$$I_{cl} = 0,64 \text{ clo.}$$

#### 4.7 Taxa metabólica

As trocas de calor contempladas nos índices de avaliação do *stress* térmico utilizados, nomeadamente o WBGT e o PHS, são determinados com base nos padrões da ISO 8996.

A taxa metabólica, juntamente com o isolamento do vestuário, estão intimamente ligados ao comportamento humano, sendo mais complexos para determinar, quando em comparação com os quatro parâmetros ambientais utilizados pelos índices (temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar) (Wenjie, et al., 2018).

Muitos estudos relatam discrepância entre os dados obtidos pelos modelos de previsão e os dados recolhidos em condições reais, especialmente em regiões com climas frios ou quentes, “entre as razões das discrepâncias, um fator importante que não pode ser ignorado é a incerteza na estimativa da taxa metabólica” (Wenjie, et al., 2018, p. 403).

A taxa metabólica foi calculada por participante para cada um dos protocolos realizados, com base na norma ISO 8996, tal como indicado pelos índices selecionados.

Entretanto, era esperado que os valores da taxa metabólica atingissem maiores valores no protocolo de marcha com carga em ambiente quente para todos os participantes, o que não se verificou. Diferente do esperado, os valores mais elevados foram observados na marcha com carga em ambiente termoneutral, o que levou a investigar as causas dos valores encontrados.

Foram realizados os cálculos do quociente respiratório médio por participante em todos os protocolos, mesmo que segunda a norma “um RQ médio de 0,85 e, portanto, de um EE de 5,68 W·h/L de O<sub>2</sub> é frequentemente suficiente” e que, nesse caso, a medição da taxa de produção de dióxido de carbono não é necessária (ISO 8996, 2004).

Tal como discorrido na secção [Consumo de oxigénio](#), deste capítulo, durante a execução dos protocolos em ambiente quente, por determinado período de tempo, a emissão de dióxido de carbono superou o consumo de oxigénio, existindo, portanto, indícios de que os participantes entraram em trabalho anaeróbico.

A norma ISO 8996 permite o cálculo da taxa metabólica em função do consumo de oxigénio e não faculta o seu cálculo com base na produção de dióxido de carbono, não prevendo situações de trabalho anaeróbico. Acredita-se que, por esta razão, os valores nos protocolos de marcha com carga em *stress* térmico possam estar subvalorizados.

Ainda assim, foi mantido o cálculo da taxa metabólica pela ISO 8996, já que é a norma prevista nos índices de *stress* térmico utilizados neste estudo.

As tabelas dos cálculos da taxa metabólica incluem a idade, altura e peso do participante (recolhido antes do início de cada protocolo); assim como cálculo da área da superfície do corpo ( $A_{du}$ ), a média do consumo de oxigénio ( $VO_2$ ), o quociente respiratório médio (RQ), o equivalente energético (EE) e por fim a taxa metabólica (M).

Entretanto, os resultados obtidos devem ser analisados com cautela e com suporte dos demais parâmetros fisiológicos medidos, tal como frequência cardíaca e concentração de lactato.

#### 4.7.1 Participante M01

A determinação da taxa metabólica do participante M01 é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23 – Taxa metabólica (Participante M01)

<b>M01</b>	<b>MSC TN</b>	<b>MCC TN</b>	<b>MSC ET</b>	<b>MCC ET</b>
Idade (anos):	19	19	19	19
Altura (m):	1,72	1,72	1,72	1,72
Peso (kg):	68,90	68,65	68,35	68,10
$A_{du}$ (m <sup>2</sup> ):	1,81	1,81	1,80	1,80
$VO_2$ (L/h):	103,80	143,40	96,00	135,60
RQ:	0,80	0,89	1,14	0,96
EE (W·h/L):	5,61	5,73	6,07	5,83
<b>M (W/m<sup>2</sup>):</b>	<b>321,94</b>	<b>455,11</b>	<b>323,25</b>	<b>438,96</b>

A partir da análise do RQ médio verifica-se valores mais elevados nos protocolos realizados em ambiente quente, os valores muito próximos ou superiores a 1, conferem indícios de trabalho anaeróbico. Já nos protocolos em ambiente termoneutral o RQ médio apresentou valores dentro da normalidade.

Devido a esta ocorrência não contemplada da norma, e diferente do esperado, a taxa metabólica mais elevada é verificada no protocolo de MCC em ambiente termoneutral.

#### 4.7.2 Participante M02

A determinação da taxa metabólica do participante M02 é apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 – Taxa metabólica (Participante M02)

<b>M02</b>	<b>MSC TN</b>	<b>MCC TN</b>	<b>MSC ET</b>	<b>MCC ET</b>
Idade (anos):	22	22	22	22
Altura (m):	1,77	1,77	1,77	1,77
Peso (kg):	75,50	75,30	74,45	74,80
A <sub>du</sub> (m <sup>2</sup> ):	1,92	1,92	1,91	1,91
VO <sub>2</sub> (L/h):	134,40	177,60	115,20	137,40
RQ:	0,80	0,85	1,00	1,06
EE (W.h/L):	5,61	5,68	5,88	5,96
<b>M (W/m<sup>2</sup>):</b>	<b>392,70</b>	<b>525,78</b>	<b>354,94</b>	<b>428,33</b>

Com base na análise do RQ médio, tal como observado no caso do participante M01, os valores mais elevados são observados nos protocolos realizados em ambiente quente, com valor igual ou superior a 1, o que confere indícios de trabalho anaeróbico. Já nos protocolos em ambiente termoneutral o RQ médio apresentou valores dentro da normalidade.

Tal como no caso anterior a taxa metabólica mais elevada é verificada no protocolo de MCC em ambiente termoneutral.

#### 4.7.3 Participante M03

A determinação da taxa metabólica do participante M03 é apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 – Taxa metabólica (Participante M03)

<b>M03</b>	<b>MSC TN</b>	<b>MCC TN</b>	<b>MSC ET</b>	<b>MCC ET</b>
Idade (anos):	22	22	22	22
Altura (m):	1,71	1,71	1,71	1,71
Peso (kg):	72,80	71,80	71,75	73,45
A <sub>du</sub> (m <sup>2</sup> ):	1,84	1,83	1,83	1,85
VO <sub>2</sub> (L/h):	106,80	133,80	-	98,40
RQ:	0,94	0,71	-	1,33
EE (W.h/L):	5,80	5,49	-	6,33
<b>M (W/m<sup>2</sup>):</b>	<b>335,92</b>	<b>400,62</b>	<b>-</b>	<b>336,38</b>



Os dados referentes as medições das trocas gasosas do participante M03 no protocolo de MSC em ambiente quente não foram compartilhados para fins deste estudo.

Nos demais protocolos, as observações são similares ao dos demais participantes já analisados.

Além disso, este participante, fumante, foi o que apresentou valores de taxa metabólica mais baixos.

#### 4.7.4 Participante M04

A determinação da taxa metabólica do participante M04 é apresentada na Tabela 26.

Tabela 26 – Taxa metabólica (Participante M04)

<b>M04</b>	<b>MSC TN</b>	<b>MCC TN</b>	<b>MSC ET</b>	<b>MCC ET</b>
Idade (anos):	24	24	24	24
Altura (m):	1,78	1,78	1,78	1,78
Peso (kg):	70,85	70,50	70,65	70,40
A <sub>du</sub> (m <sup>2</sup> ):	1,88	1,87	1,87	1,87
VO <sub>2</sub> (L/h):	126,00	175,20	104,40	177,60
RQ:	0,82	0,85	0,90	0,85
EE (W.h/L):	5,64	5,68	5,74	5,68
<b>M (W/m<sup>2</sup>):</b>	<b>378,52</b>	<b>531,22</b>	<b>320,03</b>	<b>538,83</b>

A partir da análise do RQ médio do participante M04, observa-se que este apresentou valores dentro da normalidade em todos os protocolos, com valores próximos ao linear anaeróbico apenas no protocolo de MSC em ambiente quente.

O participante M04 é atleta e, provavelmente, por estar acostumado a treinos de corrida, as trocas gasosas ocorreram de forma bastante equilibrada.

A eficiência da troca gasosa, neste caso específico, não afetou o cálculo da taxa metabólica com base no consumo de oxigénio. E por isto, diferente dos demais participantes e tal como esperado, o M04 atingiu a taxa metabólica mais elevada no protocolo de MCC em ambiente quente.

#### 4.7.5 Participante M05

A determinação da taxa metabólica do participante M05 é apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 – Taxa metabólica (Participante M05)

<b>M05</b>	<b>MSC TN</b>	<b>MCC TN</b>	<b>MSC ET</b>	<b>MCC ET</b>
Idade (anos):	21	21	21	21
Altura (m):	1,73	1,73	1,73	1,73
Peso (kg):	69,95	70,30	70,90	69,75
A <sub>du</sub> (m <sup>2</sup> ):	1,83	1,83	1,84	1,83
VO <sub>2</sub> (L/h):	114,00	190,80	96,00	174,00
RQ:	0,73	0,96	1,06	0,97
EE (W.h/L):	5,51	5,83	5,96	5,84
<b>M (W/m<sup>2</sup>):</b>	<b>343,93</b>	<b>606,81</b>	<b>311,27</b>	<b>556,52</b>

Ao analisar o RQ médio do participante M05 é possível verificar valores mais elevados nos protocolos realizados em ambiente quente. Entretanto em ambos protocolos de MCC o participante esteve no limiar anaeróbico.

E, tal como no caso dos participantes M01, M02 e M03, a taxa metabólica mais elevada é verificada no protocolo de MCC em ambiente termoneutral.

#### 4.8 Aplicação dos índices de *stress* térmico

Os índices seleccionados foram calculados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Parâmetros utilizados no cálculo dos índices de *stress* térmico

<b>Parâmetros</b>		<b>Unidade de medida</b>
<b>Parâmetros ambientais</b>		
Condição termoneutral (TN)		
Temperatura do ar	22	°C
Temperatura média radiante	22	°C
Umidade relativa do ar	40	°C
Velocidade do vento	0,6	m/s
Condição de <i>stress</i> térmico (ET)		
Temperatura do ar	40	°C
Temperatura média radiante	40	°C
Umidade relativa do ar	30	°C
Velocidade do vento	0,6	m/s
<b>Parâmetros a nível do indivíduo</b>		
Isolamento do vestuário		
Marcha sem carga	0,52	clo
Marcha com carga	0,64	clo

A taxa metabólica também é um dos parâmetros considerados na determinação dos índices WBGT e PHS, a qual foi calculada por participante e está apresentada ao longo da secção 4.7 [Taxa metabólica](#).

#### 4.8.1 Avaliação WBGT

O cálculo do índice WBGT foi realizado com as temperaturas, umidades e velocidade do ar supra mencionadas, e considerando a pressão atmosférica a nível do mar (760 mmHg).

Este método já considera a utilização de roupas de trabalho de algodão, com  $I_{cl} = 0,6$  clo e  $i_m = 0,38$  como roupa de referência. Não sendo compatível o ajuste do uso da mochila com base na lista de ajuste de roupas (CAVs) ou redução do isolamento pré-determinado. Sendo assim, a partir da utilização da ISO 7243:2017, o isolamento térmico do vestuário para os protocolos MSC e MCC é tratado como sendo o mesmo.

Após lançar os dados das condições ambientais no software, os valores dos  $WBGT_{eff}$  retornados foram de 15,8 °C para a condição termoneutral e de 29,4 °C para a condição de stress térmico.

A Figura 13 e a Figura 14 apresentam a interpolação para obtenção do WBGT de referência (ou equivalente); o  $WBGT_{eff}$  do ambiente em análise (termoneutral ou quente) e, também, a curva padrão do WBGT para indivíduos não aclimatados.

Os valores de referência foram obtidos a partir da Equação (7) apresentada na Secção [Wet bulb globe temperature \(WBGT\)](#) deste trabalho.

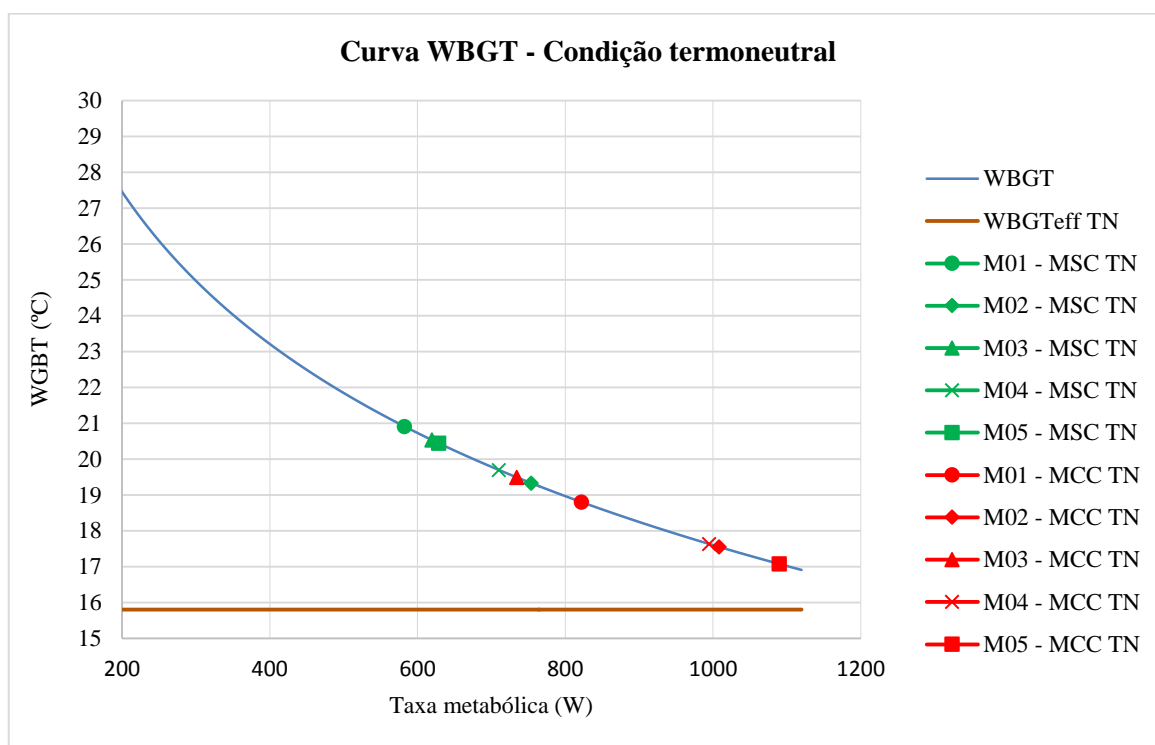


Figura 13 – Gráfico do  $WBGT_{eff}$  baseado na taxa metabólica para condição termoneutral

Os marcadores na Figura 13 são referentes as interpolações para obtenção do  $WBGT_{ref}$  para cada taxa metabólica observada nos protocolos realizados em condição termoneutral (TN).

Observa-se que a progressão da taxa metabólica dos participantes e do seu WBGT equivalente apresentam uma curva semelhante a estabelecida na norma.

Ao analisar os pontos no gráfico, seguindo a avaliação deste método, baseada na relação entre os valores de referência e valores efetivos, a taxa metabólica desenvolvida pelos participantes, nos protocolos de MSC e MCC, em condição termoneutral corresponderam a um  $WBGT_{ref}$  superior ao  $WBGT_{eff}$ , o que aponta para um cenário que não confere riscos de *stress* térmico para estes indivíduos.

Já na Figura 14 os marcadores são referentes as interpolações para obtenção do  $WBGT_{ref}$  para cada taxa metabólica observada nos protocolos realizados em condição de *stress* térmico (ET).

Observa-se que a progressão da taxa metabólica dos participantes e do seu WBGT equivalente nos protocolos realizados em ambiente quente também apresentam uma curva semelhante a da norma.

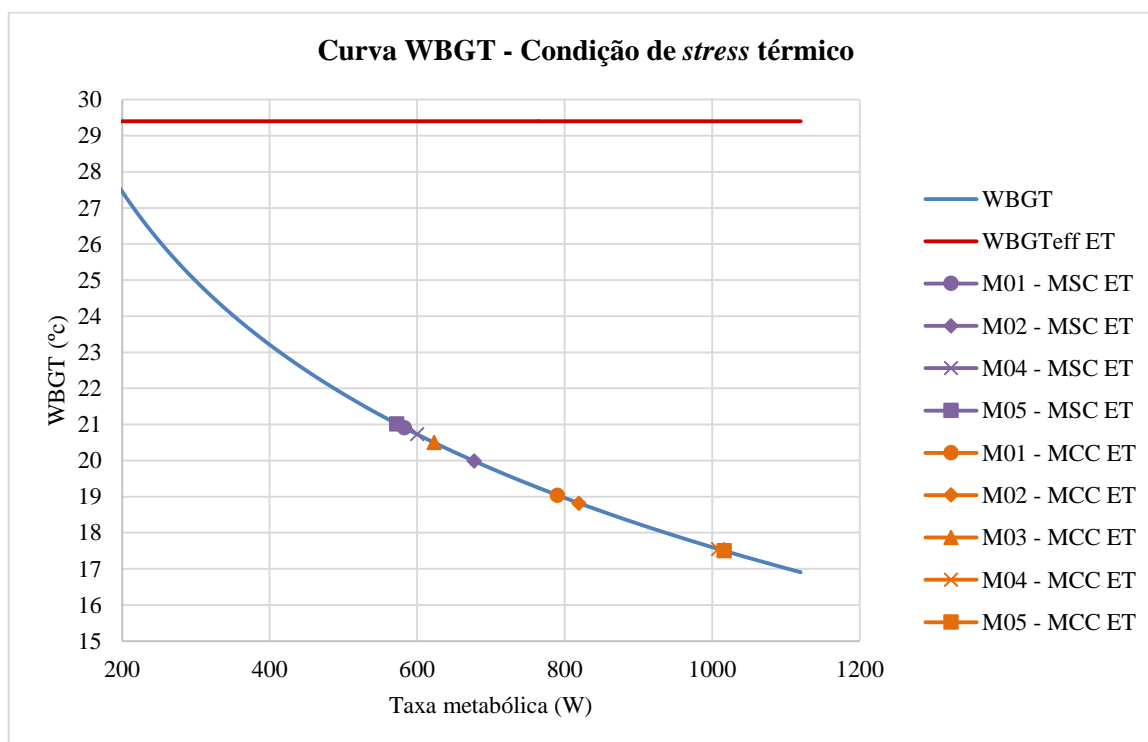


Figura 14 – Gráfico do  $WBGT_{eff}$  baseado na taxa metabólica para condição de *stress* térmico

Ao avaliar os pontos no gráfico, referentes aos protocolos de MSC e MCC, em condição de *stress* térmico, a taxa metabólica desenvolvida pelos participantes corresponderam a um  $WBGT_{ref}$  muito inferior ao  $WBGT_{eff}$ . O que, seguindo as indicações do método, aponta para um cenário muito alarmante, que confere alto risco de *stress* térmico aos indivíduos expostos a este ambiente.

#### 4.8.2 Avaliação PHS

Devido ao grande volume de dados, os resultados das simulações foram separados em marcha sem carga (MSC) e marcha com carga (MCC), e estão organizados, em gráficos, em função da condição climática. Neste sentido, são comparadas as previsões da temperatura interna e da taxa de sudção que o corpo dos participantes desenvolveria em resposta às condições ambientais em que estavam inseridos durante os testes.

O *software* retornou previsões para um total de 480 minutos (8 horas) e os gráficos estão organizados com os resultados dos primeiros 100 minutos. Sendo as projeções do PHS comparadas com os 20 minutos de teste executados pelos participantes deste estudo.

No cálculo os indivíduos foram considerados não aclimatados e sem possibilidade de beber água livremente.

Houve uma limitação, encontrada durante a execução da simulação, no que se refere a taxa metabólica, a qual estava limitada a um máximo de  $400 \text{ W/m}^2$ , ao passo que, nos protocolos de marcha com carga em ambiente termoneutral e em condição de *stress* térmico, os participantes atingiram valores muito superiores durante os testes, até  $595 \text{ W/m}^2\text{m}$ . Com exceção do participante M03, todos os demais superaram a taxa metabólica limite do *software*.

Sendo assim, as simulações realizadas para os participantes M01, M02, M04 e M05, nos protocolos de MCC em ambas condições ambientais foram realizadas com a taxa metabólica máxima do *software* – fato que pode ter subvalorizado a previsão da evolução da temperatura interna e da taxa de sudção. Devida esta ocorrência, os valores retornados nestas simulações são analisados com cautela.

Os demais parâmetros puderam ser inseridos sem problemas e os resultados das simulações são apresentados ao longo desta secção.

A Figura 15 e a Figura 16 apresentam a projeção da evolução da temperatura interna ( $T_{re}$ ) de cada participante ao longo do tempo, respetivamente, para o protocolo de MSC e para o protocolo de MCC, tanto em condição termoneutral quanto em condição de *stress* térmico.

De forma geral, as temperaturas internas previstas mais elevadas foram observadas nas situações em que os participantes estão inseridos no ambiente quente.

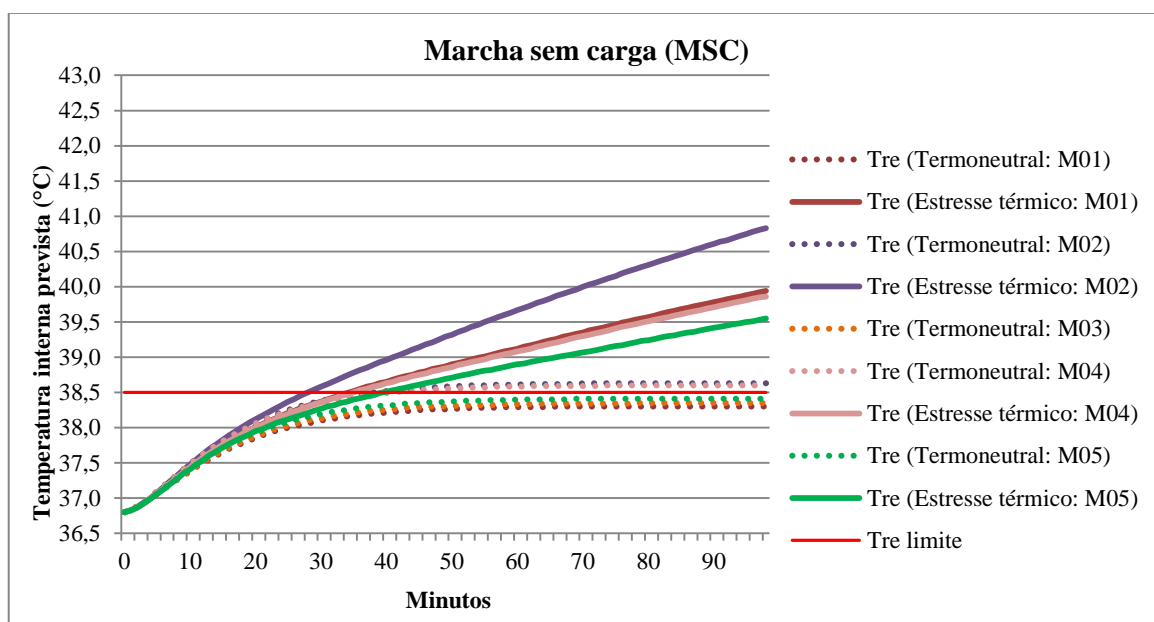


Figura 15 – Gráfico do índice PHS: previsão da temperatura interna (MSC)

Relativamente as temperaturas internas desenvolvidas ao longo dos ensaios, na Tabela 29 são apresentadas as temperaturas reais dos participantes lida nos equipamentos durante os experimentos e as previsões feitas pelo PHS para os 20 minutos de marcha.

Tabela 29 – Índice PHS: comparação entre a temperatura real e prevista (MSC)

MSC		$T_{re}$ real (°C)	$T_{re}$ prevista (°C)
M01	TN	37,54	37,85
	ET	37,66	38,01
M02	TN	37,45	38,07
	ET	37,95	38,12
M03	TN	37,49	37,88
	ET	38,02	-
M04	TN	37,73	38,06
	ET	-	38,00
M05	TN	38,09	37,93
	ET	-	37,95

TN - Condição termoneutral; ET - Condição de *stress* térmico

Com exceção do participante M05, a  $T_{re}$  prevista pelo PHS foi mais conservadora do que a temperatura real, apresentando temperaturas ligeiramente superiores as realmente desenvolvidas ao longo dos ensaios.

Em uma avaliação apoiada na Figura 15 e na Tabela 29, independentemente do ambiente em que os participantes estavam inseridos, a temperatura interna prevista não ultrapassaria o limite fixado em 38,5 °C. Tal como ocorreu nos ensaios realizados no laboratório, no qual, ao longo dos testes de marcha sem carga, este limite também não foi ultrapassado.

Não é possível confirmar esta relação em condições de *stress* térmico, para os participantes M04 e M05, devido a falta de dados referentes ao monitoramento da temperatura interna e para o participante M03, que também por falta de dados, não permitiu o cálculo da sua taxa metabólica, não permitindo assim a simulação PHS e consequentemente previsão da sua  $T_{re}$ .

É previsto, por volta dos 30 minutos de exercício em condição de *stress* térmico, que todos os participantes tenham ultrapassado o limite da  $T_{re}$  e que, por volta dos 40 minutos de exercício em condição termoneutral os participantes M02 e M04, também ultrapasse os 38,5 °C.

O incremento da temperatura interna aparece de forma mais alarmante no protocolo de marcha com carga, especialmente no ambiente quente, em que é prevista uma progressão acentuada da temperatura em curto espaço de tempo.

A progressão das temperaturas internas previstas na MCC estão apresentadas na Figura 16.

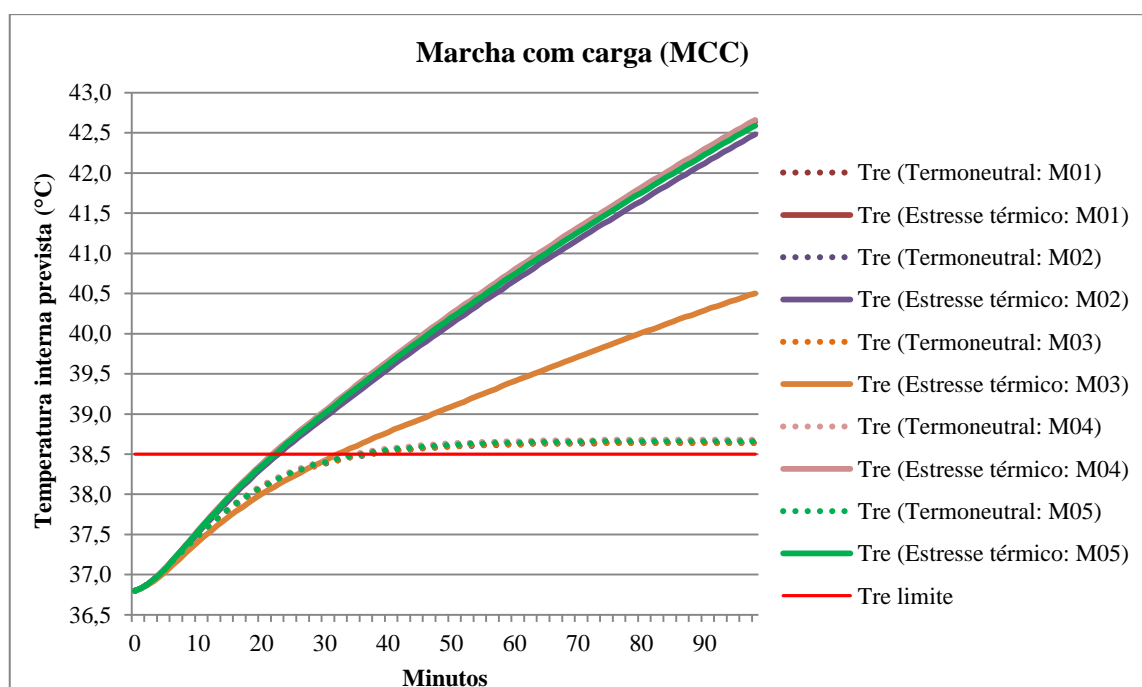


Figura 16 – Gráfico do índice PHS: previsão da temperatura interna (MCC)

Tal como elaborado para o protocolo MSC, na Tabela 30 são apresentadas as temperaturas internas reais desenvolvidas ao longo dos ensaios e as previsões feitas através do PHS para os 20 minutos de marcha.

Tabela 30 – Índice PHS: comparação entre a temperatura real e prevista (MCC)

MCC		Tre real (°C)	Tre prevista (°C)
M01	TN	38,12	38,10
	ET	38,44	38,37
M02	TN	38,22	38,07
	ET	38,67	38,32
M03	TN	37,43	38,07
	ET	37,73	38,00
M04	TN	37,94	38,10
	ET	38,60	38,37
M05	TN	38,05	38,09
	ET	-	38,35
TN - Condição termoneutral; ET - Condição de <i>stress</i> térmico			

Ao contrário do ocorrido no protocolo MSC, a  $T_{re}$  prevista pelo PHS no protocolo MCC foi inferior a temperatura realmente desenvolvida ao longo do estudo. Com exceção dos participantes M03 e M05, para os quais a  $T_{re}$  prevista foi maior que a observada na medição em contexto real.

Ressalta-se que, a simulação estava limitada a uma taxa metabólica máxima de  $400 \text{ W/m}^2$  que é um valor inferior ao realmente atingido pelos participantes nos protocolos de MCC, acredita-se que essa limitação subvalorizou a  $T_{re}$  prevista (com exceção do participante M03 que, a partir dos dados fornecidos, atingiu uma taxa metabólica máxima de  $401 \text{ W/m}^2$ ).

Se analisar de forma isolada o caso do participante M03, único que teve os dados reais simulados neste protocolo devido a esta questão da taxa metabólica, as  $T_{re}$  previstas também seriam superiores as realmente desenvolvidas nos ensaios.

Apesar desta limitação, a previsão em condição termoneutral, tal como no protocolo MSC, também é de que nenhum dos participantes ultrapasse os  $38,5 \text{ °C}$  de temperatura interna ao longo dos 20 minutos de ensaio. Valores que vão de encontro aos resultados dos testes realizados no laboratório, em que nenhum participante ultrapassou o limite fixado nesta condição ambiental.

Já para o protocolo MCC em condição de *stress* térmico, o modelo previu para os primeiros 20 minutos, temperaturas internas de no máximo  $38,37 \text{ °C}$ . Enquanto que no experimento, o participante M01, atingiu uma temperatura máxima próxima ao limite; e os participantes M02 e M04 superaram o limite, atingindo temperaturas internas de, respetivamente,  $38,67 \text{ °C}$  e  $38,60 \text{ °C}$ .

No que se refere a taxa de sudção, os valores mais elevados da taxa de sudção requerida ( $Sw_{req}$ ), assim como da taxa de sudção máxima ( $Sw_{max}$ ), são observados em ambiente quente, com valores muito superiores aos verificados em ambiente termoneutral.

A norma ressalta que a  $Sw_{req}$  não pode exceder a  $Sw_{max}$  alcançável pelo sujeito, sendo esta relação dada em função da aclimação do mesmo e que, no caso de não-equilíbrio do balanço térmico, o aumento da temperatura retal deve ser limitado a um valor máximo tal que a probabilidade de qualquer efeito patológico seja extremamente limitada (ISO 7933, 2004).



Sendo o valor da  $Sw_{max}$ , normalizado pelo ISO 7933:2004, vinculado à taxa metabólica e limitado a  $400 \text{ w/m}^2$ .

No protocolo MSC em ambiente termoneutral, segundo as projeções do método nenhum dos participantes extrapolaria sua  $Sw_{max}$  ao longo de todo o período simulado para este protocolo, como apresentado na Figura 17.

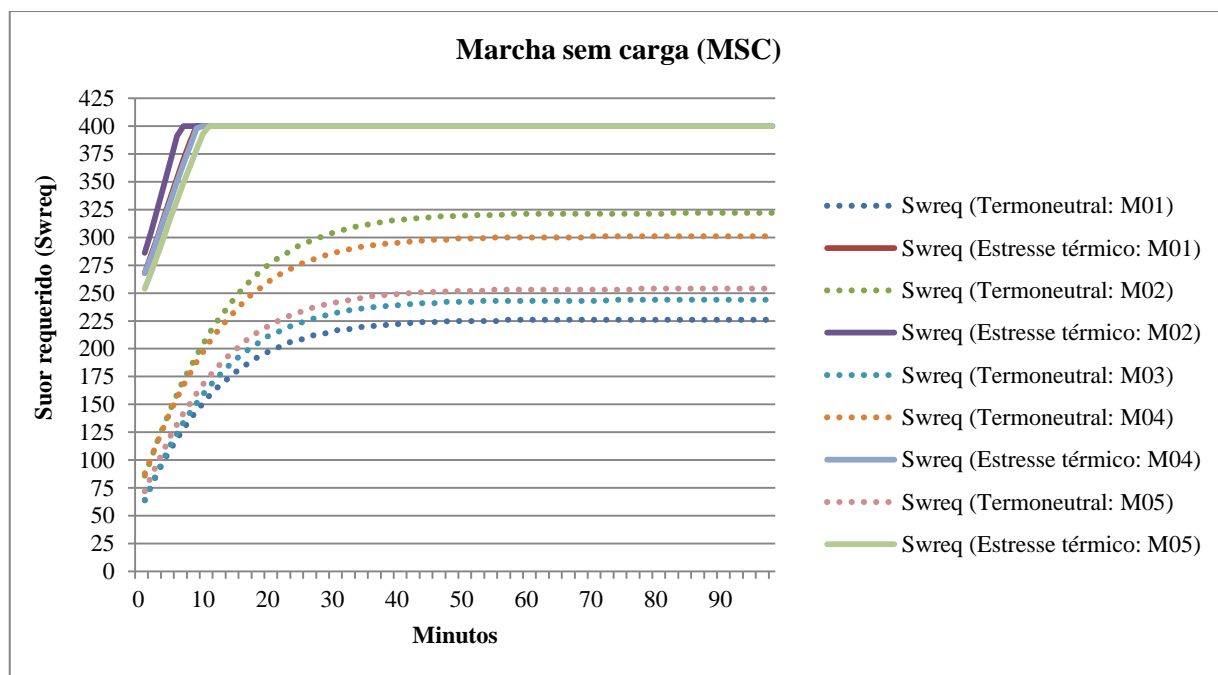


Figura 17 – Gráfico do índice PHS: previsão da taxa sudação requerida (MSC)

Segundo as previsões, para o protocolo de MSC em ambiente quente, aos 20 minutos todos os participantes já teriam atingido a  $Sw_{max}$ , entretanto, neste mesmo período, o aumento da temperatura interna esteve dentro dos limites.

Referente ao protocolo MCC, a Figura 18 mostra as previsões da taxa de sudação requerida para cada participante em condição termoneutral e em condição de *stress* térmico.

Tal como nas projeções do PHS para o protocolo anterior, na MCC em ambiente termoneutral, nenhum dos participantes extrapolaria sua  $Sw_{max}$  ao longo do período simulado para este protocolo.

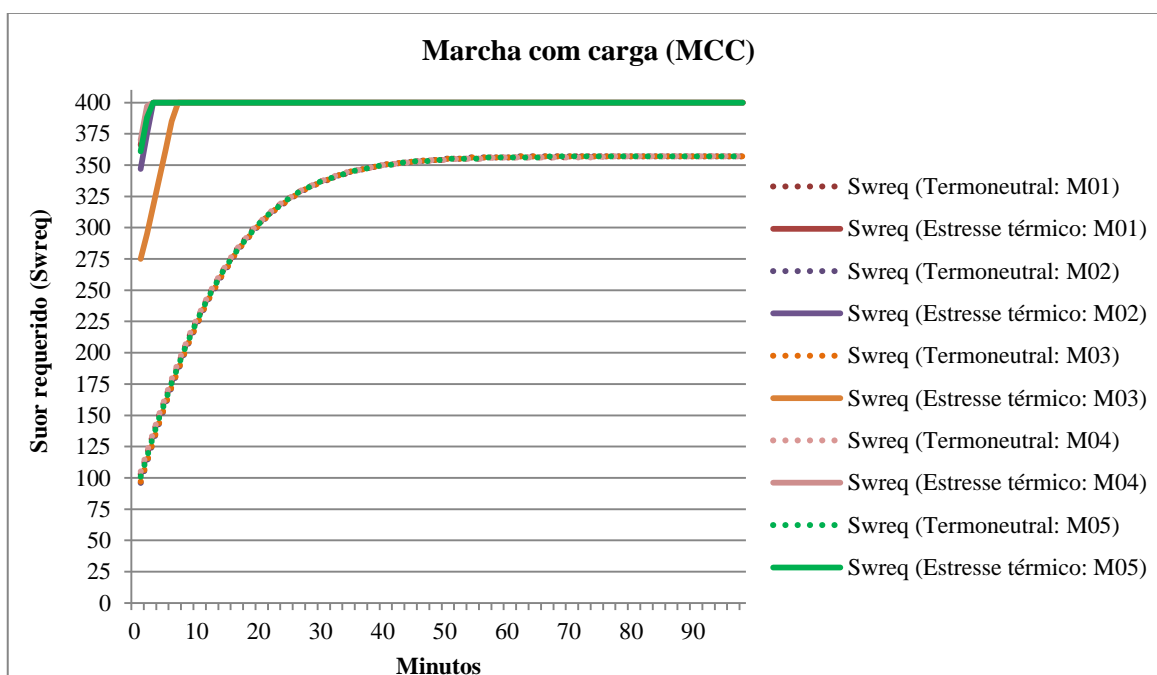


Figura 18 – Gráfico do índice PHS: previsão da taxa sudação requerida (MCC)

Já no protocolo de MCC em ambiente quente, a previsão é de que todos os participantes atinjam rapidamente a  $Sw_{max}$ . Esta previsão foi realizada considerando a taxa metabólica máxima do *software*, que é abaixo da efetivamente atingida pelos participantes, resultado que possivelmente, em uma simulação com os dados reais, retornaria valores ainda mais alarmantes. Esta previsão chama a atenção para o monitoramento mais rigoroso dos demais parâmetros fisiológicos, nestas condições, que, nos ensaios laboratoriais, foram controlados

#### 4.8.3 Avaliação UTCI

A proposta inicial do modelo UTCI, de ser um modelo completo para prever respostas humanas em condições climáticas externas de grande amplitude ainda não está concluída, e até o momento deste trabalho, sua utilização pública limita-se a um índice de avaliação ambiental. Sendo, portanto, no âmbito deste trabalho utilizado como tal.

O UTCI foi então calculado utilizando os parâmetros ambientais mencionados no início desta seção.

Foram realizados dois cálculos, um para a condição termoneutral e outro para a condição de *stress* térmico. Os parâmetros foram lançados na calculadora UTCI e os valores retornados estão organizados na Tabela 31.

Tabela 31 – Determinação do índice UTCI

	UTCI (°C)	Categoria do <i>stress</i>
<b>TN</b>	21,20	Sem <i>stress</i> térmico
<b>ET</b>	40,60	<i>Stress</i> por calor muito forte
TN - Condição termoneutral; ET - Condição de <i>stress</i> térmico		

Seguindo este índice de previsão ambiental, a “Condição termoneutral (TN)” delineada no estudo, não representa uma fonte de risco para composição do *stress* térmico, isto é, esta condição ambiental não apresenta risco potencial de gerar *stress* térmico nos indivíduos inseridos neste ambiente.

Por outro lado, a “Condição de *stress* térmico (ET)” delineada para o estudo, está incluída na categoria de “*stress* por calor muito forte”, o que alerta para uma situação de risco elevado quanto a exposição dos indivíduos à esse ambiente.



## 5 CONCLUSÕES

Este estudo buscou compreender o *stress* térmico ao qual jovens militares estariam expostos em condições reais de trabalho, sendo o objetivo principal verificar a aplicabilidade dos índices de *stress* térmico em ambiente quente e seco no contexto do trabalho militar.

A utilização de índices para a avaliação do *stress* térmico nos locais de trabalho ainda é um tema muito debatido, com grande número de estudos e de índices que apareceram na literatura nos últimos 50 anos, sendo atualmente o WBGT e o PHS os dois métodos aparentemente aprovados internacionalmente (Alfano, Malchaire, Palella, & Riccio, 2014).

No que se refere a consideração da taxa metabólica no cálculo dos índices WBGT e PHS, a determinação da mesma com base na norma ISO 8996:2004 não foi suficiente para os testes realizados no âmbito deste trabalho. Ao que tudo indica, a maioria dos participantes, entraram em trabalho anaeróbico durante a execução dos exercícios em condições de *stress* térmico e este tipo de situação não está prevista nas normas.

Esta questão foi levantada uma vez que, ao analisar os diferentes parâmetros fisiológicos monitorados ao longo do estudo, como frequência cardíaca, temperatura interna e concentração de lactato no sangue, estes apresentaram uma relação e progressão que vão de acordo com o esperado e consolidado na literatura, ao passo que o consumo de oxigénio e o quociente respiratório apresentaram valores diferentes do esperado, sugerindo a condição discutida no parágrafo anterior.

O índice WBGT é utilizado por muitos profissionais como uma medida infalível do *stress* térmico, entretanto é necessário que sua utilização seja feita com cautela (Alfano, Malchaire, Palella, & Riccio, 2014).

Indo de encontro a algumas críticas ao índice WBGT, acredita-se que o seu cálculo a partir de temperaturas e medição em unidades de grau celsius pode levar a uma interpretação errónea com base na escala de sensação de temperatura experimentada.

Ainda neste índice, tratando-se do isolamento do vestuário, a consideração dos CAVs para ajuste do vestuário e correção do índice para um  $WBGT_{eff}$  não foi suficiente para a adequação do vestuário militar.

O índice PHS mostrou-se limitado para os valores de taxa metabólica atingidas durante a execução da marcha militar com carga em ambos ambientes (termoneutral e quente), o que refletiu em uma subestimação da  $T_{re}$  prevista. Entretanto, nas marchas sem carga em ambas as condições ambientais, com exceção do participante M05, o modelo se mostrou satisfatório com previsões de  $T_{re}$  conservadoras (acima dos resultados efetivamente medidos em laboratório).

A utilização dos índices WBGT e PHS como ferramenta decisiva de avaliação e previsão do *stress* térmico pode não ser a mais adequada no contexto de treino e missões militares, em ambiente muito quente e seco, que incluem marcha com carga e alta taxa metabólica.

Entretanto, podem ser bastante úteis quando o contexto de trabalho envolve a marcha sem carga, e consequentemente uma taxa metabólica menos elevada (tal como as já validadas em ambos

modelos), mesmo em ambientes quentes, permitindo uma avaliação e previsão do *stress* térmico em uma ótica preventiva.

O modelo UTCI, apesar de ter uma proposta de modelo de previsão bastante interessante, ainda precisa de mais estudos e desenvolvimentos para chegar ao nível que seus idealizadores pretenderam alcançar. Sendo utilizado na avaliação das condições ambientais, sem considerar o esforço realizado pelo trabalhador.

Por fim, indo de encontro as pesquisas realizadas no âmbito deste estudo, considera-se o índice WBGT como uma ferramenta de triagem, a fim de identificar a existência ou não de *stress* térmico em determinado ambiente levando em consideração a taxa metabólica; enquanto a abordagem PHS é indicada para investigar condições de trabalho no calor, considerando as especificidades de cada indivíduo, e finalmente, o UTCI como ferramenta para uma primeira avaliação a nível ambiental, como indicativo de se executar ou não algum tipo de atividade no ambiente em análise.

## 6 LIMITAÇÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Como já mencionado, os dados utilizados neste trabalho vieram de fonte secundária. Estes dados foram recolhidos em ensaios realizados por pesquisadores da Universidade do Porto e do Exército Português. Entretanto, alguns dos dados do estudo original podem conter erros relacionados aos processos biológicos intrínsecos ao corpo humano, portanto um “efeito em cadeia” pode ser ocorrido, isto é, alguns erros no estudo original podem ter propagado para este trabalho.

Como o estudo original não foi delineado para este trabalho específico, alguns dados referentes ao vestuário não foram recolhidos, como por exemplo o material de fabricação das mochilas. Sendo recomendado em trabalhos futuros que seja feita uma recolha rigorosa de todos os elementos que compõem o vestuário dos indivíduos que participam do estudo.

A determinação e compreensão dos efeitos do consumo de oxigénio em função da produção de dióxido de carbono e seus efeitos na taxa metabólica limitaram a compreensão deste parâmetro. Esta relação, suas causas e efeitos devem estar sujeitos a um controle e estudo mais rigoroso, em trabalhos futuros.

Outra limitação é que a amostra é pequena. Para uma análise mais confiável, é preciso que este estudo seja ampliado a fim de se verificar a recorrência dos resultados obtidos e assim garantir, ou não, a aplicabilidade dos índices de *stress* térmico nas condições delineadas para este estudo.

Os índices abordados neste trabalho, apesar de não estarem limitados a uma faixa específica de taxa metabólica, até o momento estão validados apenas para valores de taxas metabólicas muito restritas. Sugere-se para trabalhos futuros estudos mais completos que testem a validade destes modelos para taxas metabólicas mais elevadas e em condições ambientais mais severas do que as já consagradas.





## 7 BIBLIOGRAFIA

- Alfano, F. R., Malchaire, J., Palella, B. I., & Riccio, G. (2014). WBGT index revisited after 60 years of use. *Annals of Occupational Hygiene*, 58, pp. 955–970.
- APHC. (2003). *Heat stress control and heat casualty management*. Army Public Health Center, Quartel General do Exército e Força Aérea dos USA. Washington, DC: Air Force Pamphlet.
- Araújo, Rui, & Fiequimetal. (2010). *Segurança e saúde no trabalho: Ambiente de trabalho*. Alhos Vedros: Belgráfica.
- Becker, J. A., & Stewart, L. K. (2011). Heat-related illness. *American Family Physician*, 83, pp. 1325-1330.
- Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., & Jendritzky, G. (2012). UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology*, 56, pp. 429-441.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6 ed.). São Paulo: Atlas.
- Glazer, J. L. (2005). Management of heatstroke and heat exhaustion. *American Family Physician*, 71, pp. 2133-2140.
- Gomes, J. P. (2017). *Fisiologia do treino*. Instituto Português do Desporto e Juventude.
- Hunt, A. P., Parker, A. W., & Stewart, I. B. (2013). Symptoms of heat illness in surface mine workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86, pp. 519–527.
- ISO 7243. (1989). *Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 7243. (2017). *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 7726. (1998). *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 7933. (2004). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 7933. (2004). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 8996. (2004). *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*. Geneva: International Organization for Standardization.

- ISO 9886. (2004). *Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 9920. (2007). *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jackson, L. L., & Rosenberg, H. R. (2010). Preventing heat-related illness among agricultural workers. *Journal of Agromedicine*, 15, pp. 200-215.
- Joyner, M. J., & Casey, D. P. (2015). Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. *American Physiological Society*, 95, pp. 549–601.
- NTP 295. (1991). *Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca*. Espanha: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Parsons, K. (2014). *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance* (Vol. 3). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Pryor, R. R., Bennett, B. L., O'Connor, F. G., Young, J. M., & Asplund, C. A. (2015). Medical evaluation for exposure extremes: heat. *Wilderness & Environmental Medicine*, 26, pp. S69-S75.
- Sociedade Brasileira de Dermatologia. (28 de Abril de 2018). *Sua saúde: Pele - Doenças*. Fonte: Sociedade Brasileira de Dermatologia: <http://www.sbd.org.br/>
- Talaia, M. A., & Ferreira, V. (2010). Stress térmico na frente de fogo no combate a incendio florestal: avaliação de risco. *Territorium*, pp. 83-91.
- Teixeira, A. S., Grossl, T., Lucas, R. D., & Guglielmo, L. A. (2013). Resposta cardiorrespiratória e gasto energético em exercício na máxima fase estável de lactato. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 16, pp. 212-222.
- UTCI. (2004). (COST European Cooperation in Scientific and Technical Research; The International Society of Biometeorology (ISB)) Acesso em Agosto de 2018, disponível em Universal Thermal Climate Index: <http://www.utci.org>
- Wenjie, J., Maohui, L., Bin, C., Yingxin, Z., Yang, G., & Borong, L. (2018). A new method to study human metabolic rate changes and thermal comfort in physical exercise by CO<sub>2</sub> measurement in an airtight chamber. *Energy & Buildings*, 177, pp. 402–412.
- Zare, S., Hasheminejad, N., Shirvan, H. E., Hemmatjo, R., Sarebanzadeh, K., & Ahmadi, S. (2018). Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*, 19, pp. 49–57.